Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т.XCII, 1982 г.

УДК 550.834

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД РУДНЫХ РАЙОНОВ

Ю.Г.ШОПИН, О.В.МИРОШНИКОВА

Задача составления скоростных моделей рудных районов чрезвычайно сложна ввиду многообразия форм распределения упругих параметров в магматических породах и недостаточно разработанного комплекса способов их исследования. Последнее касается не только создания способов непосредственных измерений (особенно в скважинах), но и установления роли каждого из входящих в этот комплекс способов при построении скоростных моделей реальных сред.

Способы, входящие в комплекс методов исследований упругих параметров, условно разбиваются на две группы, различие между которыми состоит главным образом в условиях измерений. При наземных и скважинных наблюдениях породы исследуются в естественном залегании. Полученные таким образом сведения о скоростных свойствах пород без каких-либо поправок и допущений используются при интерпретации сейсмических материалов.

Лабораторные исследования проводятся на небольших по размерам образцах пород в ультразвуковом диапазоне частот. В этом случае возникает необходимость введения соответствующих поправок и корректив, позволяющих использовать данные лабораторных измерений для целей сейсморазведки. Для получения истинных значений скорости в реальной среде необходимо учитывать такие факторы, как давление, влажность, температура и др. [I, 2]. Учет этих факторов довольно сложен, поскольку не всегда можно правильно установить степень их влияния в естественных условиях.

При лабораторных исследованиях керна сравнительно неглубоких (до I км) поисково-разведочных скважин в рудных районах давление и температуру можно не учитывать, ибо это не приводит к существенным искажениям. Подтверждением этого служит совпадение данных различных способов измерений в естественном залегании пород (данные обработки первых волн ВСП и МОВ) и лабораторных исследований (рис.I). Небольшие расхождения не выходят за пределы точности выполненных различными способами измерений. Различие во влагонасыщенности образцов пород в естественном залегании и при лабораторных

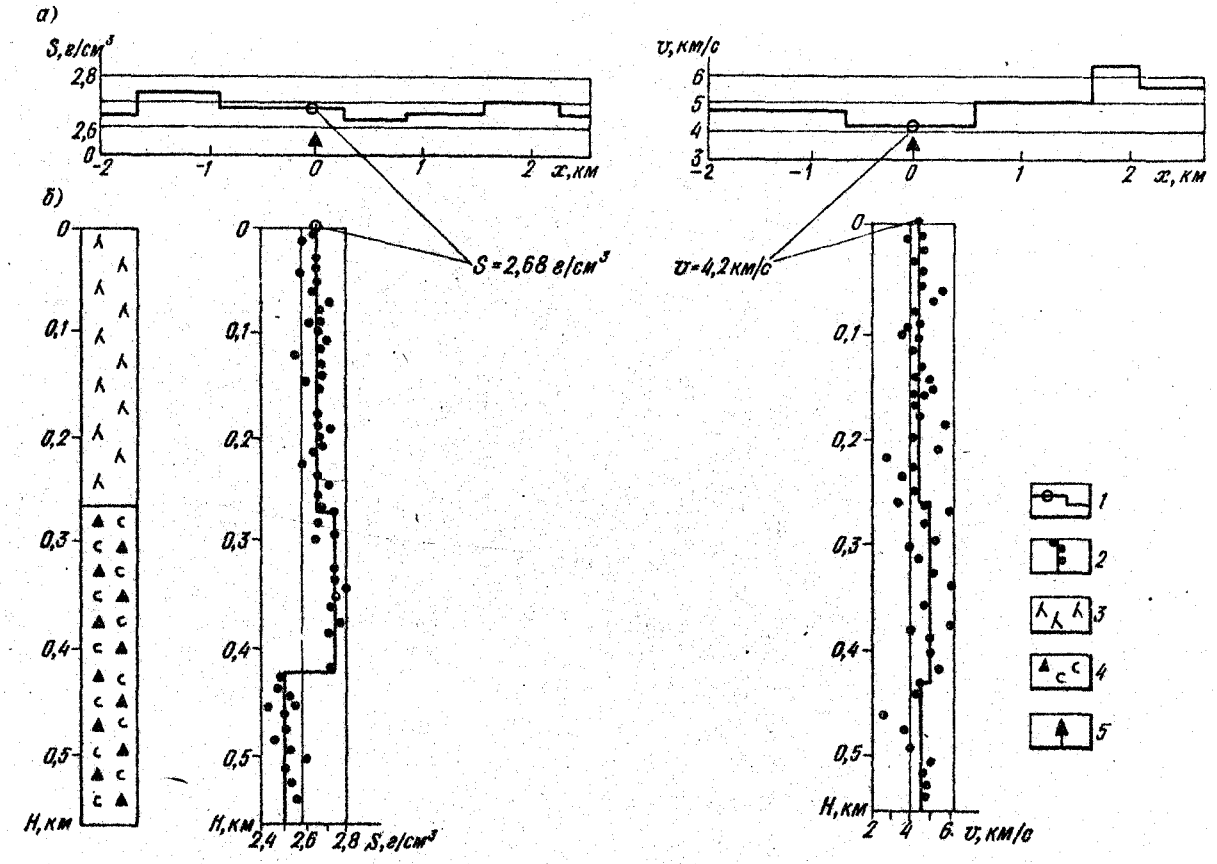


Рис.1. Данные лабораторных определений упругих параметров образцов, взятых из обнажений по профилю (а) и керна скважины (б)

1 – обобщенные данные лабораторных определений; 2 – значения и осредненная линия для плотности и скорости; 3 – порфириты; 4 – туфобрекчии; 5 – скважина

исследованиях также незначительно, что в какой-то мере устраняется увлажнением образцов пород перед измерениями. Поскольку неизвестна степень влагонасыщенности пород в естественном залегании, то для получения истинных значений скорости упругих волн необходимы специальные исследования, а затем доведение влагонасыщенности до нужной величины при лабораторных определениях. Практически можно ограничиться неконтролируемым насыщением водой образцов пород и вводить соответствующие поправки за неполный учет степени влажности образцов.

Скоростные характеристики пород в рудных районах изучаются на образцах, отобранных из обнажений и в скважинах в пределах профилей или участков сейсмических наблюдений. Интервал отбора из обнажений определяется задачами исследований и выдерживается равным 100-200 м. На участках неоднородного геологического строения проводится детальный отбор с уменьшением интервала в два-три раза и соответственно с увеличением количества образцов. Для определения степени неоднородности скоростного разреза и тонкой структуры сейсмических границ отбор образцов в скважинах производится с равномерным интервалом, равным 5-10 м [3, 4, 5].

Скорость упругих волн на образцах измеряется по стандартной методике с помощью ультразвуковой аппаратуры. На каждом образце производится по 4-6 замеров с абсолютной ошибкой измерения среднего значения 0,2-0,4 км/с, что соответствует относительной погрешности 4-8 %. Статистическая обработка данных лабораторных измерений заключается в построении вариационных кривых по отдельным группам пород, получении законов распределения и вычислении доверительных интервалов изменения параметров [3, 6, 7, 10]. Для основных типов пород вычисляются средние и модальные значения, среднеквадратическое отклонение, асимметрия, коэффициент однородности и эксцесс, что позволяет количественно оценить полученные данные.

Окончательные результаты обработки представляются в виде таблиц, вариационных кривых, графиков изменения упругих параметров на профилях сейсмических наблюдений, схем распределения по площади и т.п. По данным лабораторных измерений керна строятся вертикальные графики скорости упругих волн и плотности и по ним вычисляются значения акустической жесткости $W(z)$ как произведение этих параметров. Такие вертикальные графики, учитывающие оба упругих параметра, являются основным материалом при изучении тонкой скоростной структуры среды и сейсмических границ.

Материалы лабораторных определений играют большую роль в составлении скоростной модели среды и сейсмических границ, поскольку в настоящее время в рудных районах еще не нашли практического применения акустические способы исследований поисково-разведочных скважин. В наших работах [4, 5] показана возможность таких построений на основе равномерного отбора образцов керна и получения вертикального графика акустической жесткости $W(z)$, учитывающего реальные соотношения плотности и скорости упругих волн, что является несомненным преимуществом перед графиками акустического каротажа, учитывающего изменения только одного параметра.

На основе анализа графиков акустической жесткости $W(z)$ определяются преобладающие значения мощности скоростных слоев, закономерности распре-

деления в разрезе и устойчивость их в пространстве. Результаты таких исследований дают возможность сделать важные выводы о скоростной модели среды и, в частности, о свойствах сейсмических границ.

Вариационная кривая, составленная по данным лабораторных определений 1200 образцов керна скважин Кафанского района, дает представление о доминирующих значениях скорости упругих волн в вулканогенно-осадочных породах (рис.2). Асимметричная форма кривой указывает на относительно большое распространение пород с низкими (2–4 км/с) значениями скорости при доминирующем значении 5,5 км/с.

Представляет интерес и вариационная кривая значений мощности скоростных слоев на графиках акустической жесткости $W(z)$. Преобладают скоростные слои мощностью 10–20 м (50 %), доля слоев со сравнительно большой мощностью (60–100 м) составляет всего 20 %. Полученные данные хотя и являются характеристикой разреза до глубин 0,8 км могут явиться основой для выбора оптимальных сейсмических параметров и для больших глубин.

Другой областью применения данных лабораторных определений является получение скоростных характеристик литолого-стратиграфических горизонтов или отдельных разностей пород. Для них составляются таблицы средних значений параметров с пределами колебаний, определяются зависимости от состава и степени основности, оценивается влияние вторичных процессов. Методика составления этих зависимостей аналогична широко применяемым приемам обработки значений физических параметров.

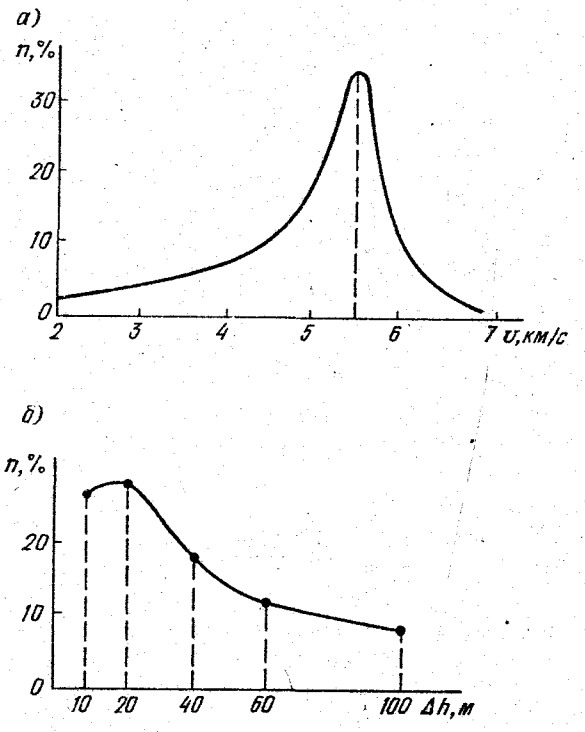


Рис.2. Вариационные кривые скорости упругих волн (а) и мощности скоростных слоев Δh (б) по данным вертикальных графиков акустической жесткости для вулканогенно-осадочных пород Кафанского района
n – число измерений

Однако основным источником информации о распределении скорости в разрезе рудных районов являются данные обработки первых волн, полученные при наземных и скважинных наблюдениях МОВ и ВСП и выраженные в функциональных зависимостях $v(x)$, $v(z)$ и $v(x,z)$.

Наглядной формой представления результатов обработки рефрагированных волн является по-

ле скоростей в изолиниях $v(x,z) = const$ [3, 8, 10]. Ввиду нестрогих решений обратной задачи сейсморазведки для неоднородно-градиентных сред эти построения носят приближенный характер и нуждаются в подтверждении данными других способов и априорными данными. Одним из способов проверки правильности построения поля скоростей является решение прямой кинематической задачи. При этом локальные расхождения между теоретическими и экспериментальными годографами во внимание не принимаются.

Несмотря на приближенный характер построения поля скоростей, последние используются для определения степени неоднородности скоростного разреза, наличия блоков и локальных изменений. В поле скоростей находят отражение как главные составляющие, так и локальные скоростные неоднородности, соответствующие небольшим по размерам геологическим объектам: разломам, дайкам и т.п. [3, 8, 9]. Выделение скоростных блоков осуществляется по полю скоростей с привлечением других сейсмических признаков, главным из которых является распределение в разрезе отражающих и дифрагирующих элементов. Границы блоков часто характеризуются разрывами сплошности отражающих границ, концентрацией отражающих и дифрагирующих элементов на определенных участках разреза, резкими изменениями углов наклона отражающих границ и др.

Скоростные блоки объединяют породы с близким литологическим составом, одинаковыми условиями залегания и распределением зон вторичных изменений пород. Границы блоков могут совпадать с крупными зонами тектонических нарушений, которые на сейсмических разрезах прослеживаются серией крутопадающих площадок и локальными изменениями поля скоростей. Размеры блока могут быть самыми разнообразными и зависят от общей структуры пород. В областях интенсивной складчатости и разрывной тектоники размеры блоков не превышают 1-2 км, а на участках спокойного залегания слоев размеры блоков увеличиваются до 4-5 км.

Для малодетальных систем наблюдений определяются обобщенные зависимости скорости по горизонтали или вертикали $v(x)$ и $v(z)$. Последние используются, главным образом, при построении скоростных моделей среды для профилей или небольших участков. При равных интервалах между пунктами взрыва по годографам рефрагированных волн находят истинные значения скорости для некоторой глубины, равной величине максимального проникновения рефрагированного луча, и составляют графики $v(x)$.

Зависимости $v(x)$ и $v(z)$ являются исходным материалом для определения положения блоков с однородным скоростным строением и модели средней скорости. Размеры таких блоков во многом зависят от степени детальности систем наблюдений и точности вычисления скорости по годографам первых волн. Для более точного и объективного осреднения годографов и вычисления по ним значений скорости используются алгоритмы и программы на ЭВМ, которые нашли применение при обработке данных сейсмического каротажа.

Функциональные зависимости $v(z)$, построенные по серии наблюдаемых годографов рефрагированных волн, характеризуют изменение скорости по вертикали для отдельных участков скоростных разрезов или комплексов пород. В большинстве случаев графики $v(z)$ аппроксимируются различными видами

функций, среди которых преобладают линейные и экспоненциальные. Общим для всех графиков является наличие в верхней части разреза слоя больших градиентов скорости, мощность которого изменяется от десятков до сотен метров [3, 8, 9]. Параметры градиентного слоя меняются в широких пределах в зависимости от целого ряда физико-геологических факторов. Отмечено, что наибольшая мощность слоя характерна для низкоскоростных пород (2-4 км/с) и минимальная - для пород, имеющих скорости выше 5 км/с.

Данные лабораторных измерений свидетельствуют о более сложных зависимостях скорости от глубины. Вертикальные графики $W(z)$ характеризуются постепенным или резким увеличением (реже уменьшением) значений с глубиной, либо имеют очень сложную форму, не позволяющую установить какую-либо закономерность. Следует отметить, что повышение значений упругих параметров с глубиной проявляется на вертикальных графиках $W(z)$ при рассмотрении их серий, относящихся к крупным комплексам пород, охарактеризованных на значительных участках наблюдений.

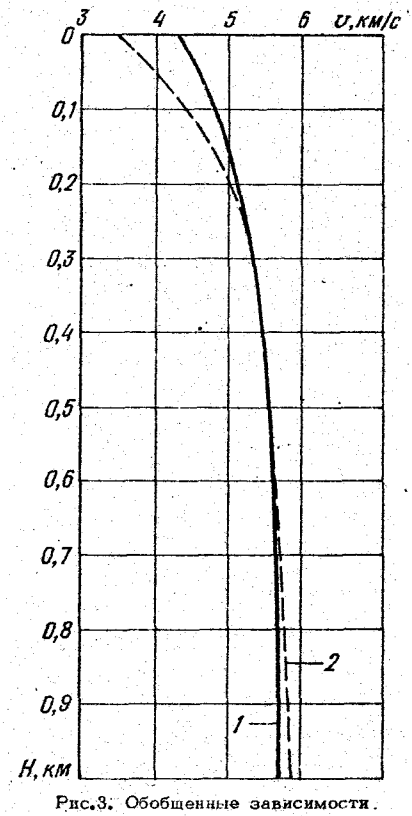


Рис.3. Обобщенные зависимости скорости упругих волн от глубины в вулканогенно-осадочных породах Кафанского рудного района, полученные по данным лабораторных определений керна скважин (1) и обработки годографов рефрагированных волн (2)

В соответствии с характером функциональных зависимостей изменения значений скорости с глубиной для вулканогенно-осадочных пород Кафанского района устанавливаются следующие осредненные параметры: начальная скорость 4-4,5 км/с, скорость на глубине 1 км 5,3-5,8 км/с, диапазон зоны больших градиентов 0,3-0,4 км, максимальный градиент скорости в зоне 5 $с^{-1}$ и на больших глубинах - 0,5 $с^{-1}$ и менее.

Осредненные зависимости значений упругих параметров от глубины, полученные по результатам МОВ и лабораторных исследований, отличаются незначительно (рис.3). Расхождение наблюдается лишь в верхней части разреза, что может быть объяснено спецификой отбора образцов, когда предпочтение отдается плотным и ненарушенным образцам пород и параметры несколько завышаются по сравнению с реальным распределением скорости в разрезе, которое получают при обработке волновых полей. Некоторое завышение скорости на больших глубинах по данным рефрагированных волн обусловлено, вероятно, неточными способами решения обратных задач для сложных разрезов рудных районов.

В заключение отметим, что для построения скоростной модели среды рудных районов необходим широкий комплекс способов исследования, включающий наземные и скважинные наблюдения, а также лабораторные определе-

ния упругих параметров, поскольку полученные данные по-разному отражают скоростную модель исследуемых пород. Для составления локальных скоростных моделей и, в частности, модели сейсмических границ большое значение имеют материалы массовых лабораторных определений керна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воларович М.П., Баюк Е.И. Влияние всестороннего давления до 4000 кГ/см^2 на упругие свойства образцов горных пород. – ДАН СССР, 1961, т. 135, № 1.

2. Дортман Н.Б., Магид М.Ш. Скорости упругих волн в кристаллических породах и ее зависимости от влажности. – ДАН СССР, 1968, т. 179, № 1.

3. Карапетян Э.М., Мирошникова О.В., Шопин Ю.Г., Халатян А.А., Камалян Ш.В. Скоростная модель Кафанского рудного района. – Изв. АН Арм.ССР, сер. „Науки о Земле", 1980, № 6.

4. Мирошникова О.В., Дебрецион Т. Выявление связи волновых полей с тонкой структурой сейсмических границ в магматических породах. – Зап. ЛГИ, 1981, т. 89.

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

6. Рыжков П.А., Гудков В.М. Применение математической статистики при разведке недр. М., Недра, 1966.

7. Хьюз Д., Моррет К. Скорость упругих волн в основных изверженных породах при изменении давления и температуры. – В кн.: Ультразвук в геофизике. М., Мир, 1964.

8. Шопин Ю.Г., Громова Н.Н., Мирошникова О.В. Скоростная характеристика магматических пород северо-восточной части Малого Кавказа. Вопросы разведочной геофизики. Л., Недра, 1969. Вып. 9.

9. Шопин Ю.Г., Мирошникова О.В., Громова Н.Н., Мамед-Заде А.Ш. Сейсморазведка при картировании вулканогенных и интрузивных пород Малого Кавказа. – В кн.: Геофизические исследования при геологическом картировании. Алма-Ата, изд. Каз.филиала ВИРГа, 1968.

10. Шопин Ю.Г., Громова Н.Н., Мирошникова О.В., Морозова Л.М. О некоторых закономерностях изменения физических характеристик метаморфических пород Белоканского рудного поля Большого Кавказа. – Вопросы разведочной геофизики, вып. 18, Л., Недра, 1973.