Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, XXXIII, № 6, 77—84, 1980

УДК 552.4 : 550.834(479.23)

Э. М. КАРАПЕТЯН, О. В. МИРОШНИКОВА, Ю. Г. ШОПИН, А. А. ХАЛАТЯН, Ш. В. КАМАЛЯН

СКОРОСТНАЯ МОДЕЛЬ КАФАНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Показано, что характерной особенностью скоростной модели исследуемых пород является тонкослоистая дифференциация, расчленение на крупные блоки относительно однородкого строения с градиентом скорости в некоторых из них. Сейсмические границы, соответствующие контактам пород и зонам тектонических нарушений, аппроксимируются, главным образом, моделью тонких слоев или их сочетаниями.

В последние годы на территории Кафанского рудного района в большом объеме проведены детальные исследования упругих параметров вулканогенно-осадочных пород. Наибольший интерес представляют результаты массовых измерений плотности и скорости продольных волн по образцам керна из 45 скважин глубиной до 0,8 *км* с равномерным отбором через интервал 5—10 *м*. Последние в сочетании с данными обработки волновых полей наземных и скважинных наблюдений дают возможность получить достаточно полное представление не только о скоростной модели среды в целом но и о локальных скоростных неоднородностях (сейсмических границах), определяющих структуру наблюдаемых волновых полей.

Особенностью скоростного строения вулканогенно-осадочных пород Кафанского района являются широкий диапазон изменения значений плотности (2,42—2,89 *г/см*^{3}) и скорости продольных волн (1,5—7,5 *км/с*), а также высокие средние значения этих параметров, лежащие в пределах 2,52—2,82 *г/см*^{3} и 4,4—5,8 *км/с* соответственно (табл. 1). Эти изменения обусловлены, главным образом, литологическим составом, возрастом, условиями залегания пород и наличием широко развитых зон тектонических нарушений и вторичного метаморфизма.

Сравнивая характеристики разновозрастных горизонтов, сложенных в основном из порфиритов, можно видеть, что молодые породы мелового-верхнеюрского возраста имеют наименьшие значения плотности (2,63 *г/см*^{3}) и скорости продольных волн (4,7 *км/с*), верхнеюрские и верхнебайосские соответственно 2,72 *г/см*^{3} и 5,5 *км/с*, а нижнебайосские— 2,78 *г/см*^{3} и 5.7 *км/с* (рис. 1).

В меньшей степени эта зависимость проявляется в туфогенных породах, для которых возможны и обратные соотношения параметров: молодые разности этих пород иногда имеют более высокие значения упругих параметров, чем древние. Однако эти разности пород не оказывают существенного влияния на общую закономерность увеличения значений

упругих параметров с возрастом пород, связанную с изменением состава, структуры и другими физико-геологическими факторами.

Следует отметить, что аналогичная закономерность установлена и для вулканогенно-осадочных пород эоценового возраста Ордубадского рудного района. Для трех горизонтов верхнего, среднего и нижнего эоцена наблюдается последовательное увеличение с возрастом осредненных значений плотности 2,45, 2,50 и 2,75 *г/см*^{3} и скорости продольных волн 4,5, 5,0 и 5,5 *км/с*. В целом, эти породы имеют меньшие зна-

Таблица 1

Возраст	Породы	Количество образцов	Плотность, *г/см*^{3}			Скорость упругих волн, *км/с*		
			среднее значение	пределы изменений	коэффициент вариации	среднее значение	пределы изменений	коэффициент вариации
Нижний мел—верхняя юра	плагиоклазовый порфирит	58	2,63	2,42—2,81	0,08	4,6	2,5—6,0	0,9
	известняк	10	2,52	2,45—2,61	0,01	4,4	4,2—6,8	0,8
Верхняя юра	кварцевый порфирит	32	2,64	2,55—2,76	0,05	4,7	1,7—6,5	1,4
	плагиоклазовый порфирит	215	2,71	2,57—2,88	0,07	5,4	1,5—7,5	1,3
	туфобрекчии	155	2,72	2,55—2,85	0,07	5,7	2,2—7,5	1,2
	туфоконгломераты	166	2,67	2,47—2,84	0,07	4,5	1,6—6,8	1,3
	туфопесчаник, песчаник	51	2,70	2,57—2,89	0,08	5,3	2,6—6,8	0,9
Верхний байос	кварцевый порфирит	26	2,66	2,57—2,70	0,07	4,8	1,7—6,5	1,4
	плагиоклазовый порфирит	216	2,72	2,53—2,86	0,07	5,5	2,2—7,5	1,3
	туфобрекчии	60	2,69	2,57—2,78	0,05	5,0	2,6—6,8	0,9
	туфоконгломераты	40	2,69	2,57—2,87	0,09	4,5	2,1—6,5	0,9
Нижний байос	плагиоклазовый порфирит	35	2,79	2,72—2,89	0,05	5,6	3,6—7,4	0,9
	диабазовый порфирит	8	2,82	2,74—2,87	0,04	5,8	4,0—6,9	0,9

чения упругих параметров по сравнению с более древними вулканогенно-осадочными отложениями Кафанского района.

Как и для большинства рудных районов Кавказа, верхняя часть разреза вулканогенно-осадочных пород Кафанского района характеризуется изменением упругих параметров с глубиной [1—7]. Зависимость упругих параметров от глубины может иметь разнообразные формы

графиков $V(z)$ и $\delta(z)$: постепенное или резкое возрастание значений параметров или сложная форма графиков, не позволяющая установить какой-нибудь определенной закономерности. Последнее отражает сильную изменчивость упругих характеристик пород и существование участков разреза с произвольным направлением градиента. В общем же случае породы в верхней части разреза имеют резкое изменение значений параметров, а на глубинах, превышающих первые сотни метров, гради-

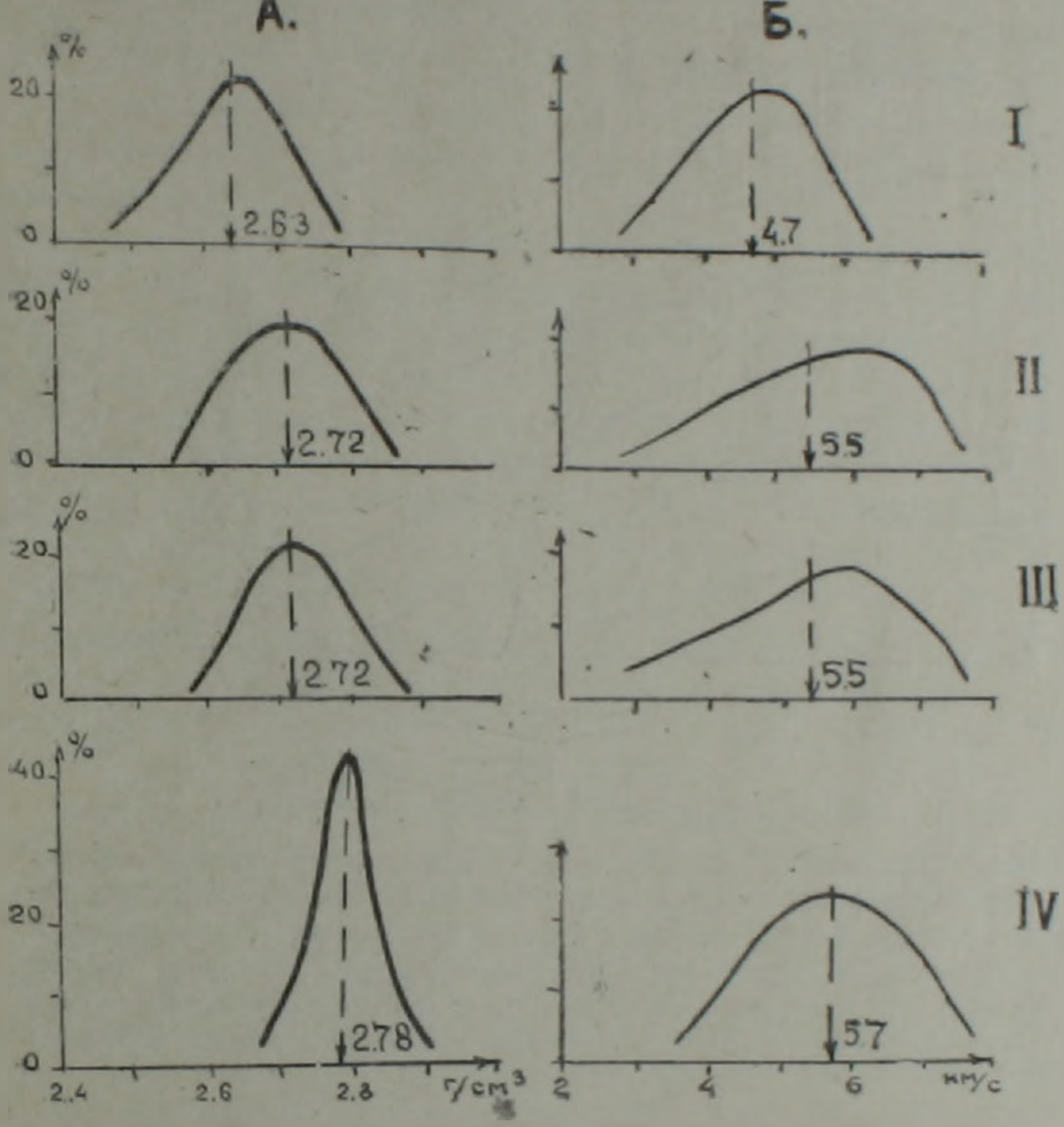

Рис. 1. Вариационные кривые распределения плотности (*А*) и скорости продольных волн (*Б*) порфиритов разного возраста: нижнемеловые-верхнеюрские (I), верхнеюрские (II), верхнебайосские (III) и нижнебайосские (IV).

ент скорости уменьшается и значения упругих параметров пород приближаются к осредненным характеристикам исследуемой толщи пород.

Обобщенные зависимости скорости от глубины для всего комплекса вулканогенно-осадочных пород Кафанского района имеют следующие параметры: начальная скорость равна 4—4,5 *км/с*, на глубинах свыше 0,4—0,6 *км* значения скорости достигают 5,5—5,8 *км/с*. Мощность слоя с максимальным градиентом скорости меняется в широких пределах и

в среднем составляет 0,4 км. При линейном возрастании скорости с глубиной величина коэффициента β меняется от 0,2 до 0,8 $м^{-1}$.

Скоростная модель глубинной части разреза представляется в виде блоков пород с относительно однородным распределением упругих параметров. В такие блоки объединяются породы с близкими литологическим составом и структурными особенностями. Границы скоростных блоков часто совпадают с крупными зонами тектонических нарушений, которые на сейсмических разрезах прослеживаются серией крутопадающих отражающих площадок (рис. 2). Размеры блоков могут быть са-

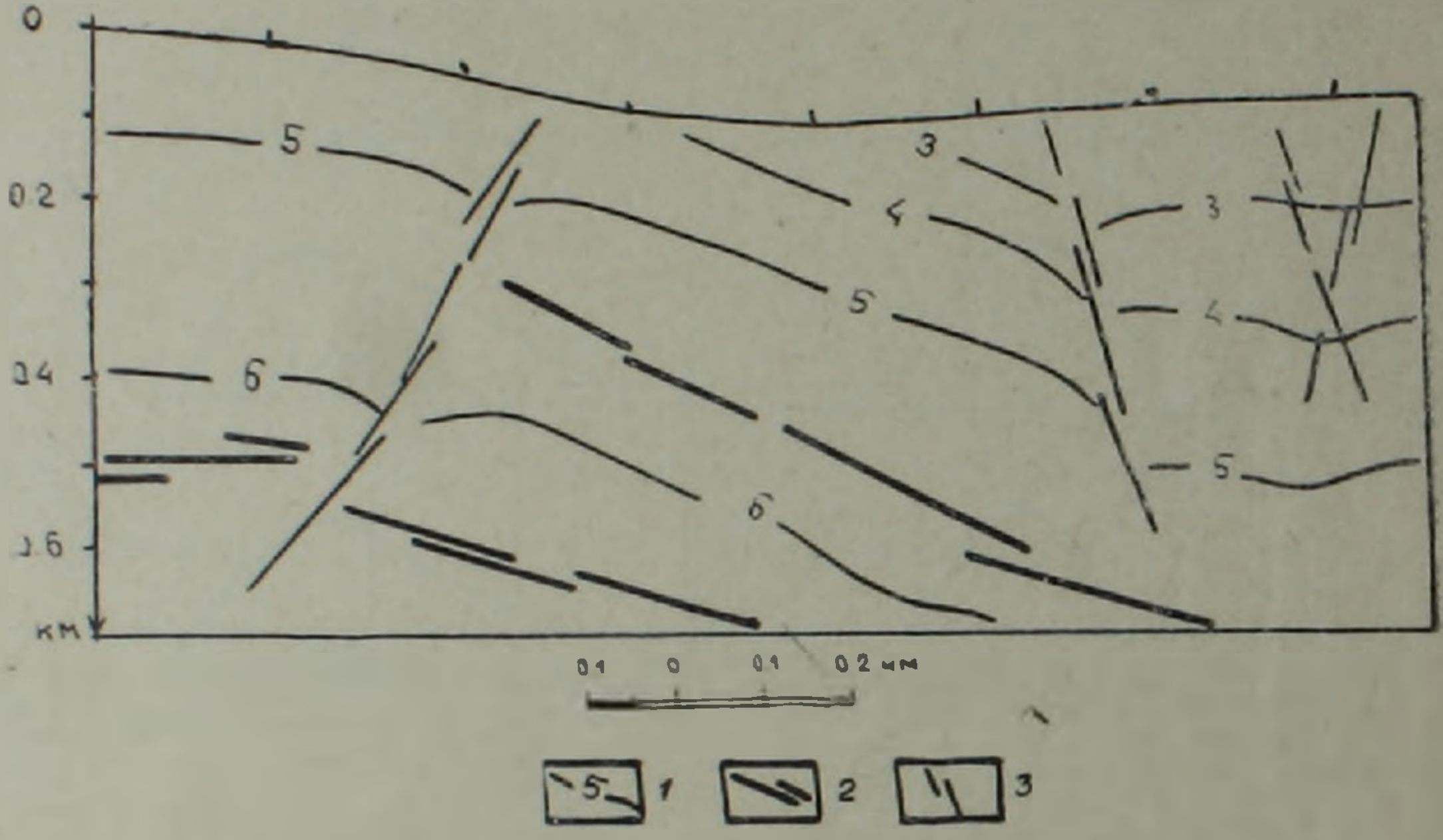

Рис. 2. Типичный сейсмический разрез в вулканогенно-осадочных породах Кафанского рудного района, полученный по данным обработки годографов рефрагированных и отраженных волн. 1— изолинии скорости (в км/с), построенные по годографам рефрагированных волн детальной системы наблюдений, 2—отражающие площадки, соответствующие литологическим горизонтам, 3— отражающие площадки, связанные с зонами тектонических нарушений.

мые разнообразные: в верхней части разреза горизонтальные размеры блоков не превышают 2—3 км, а на участках спокойного залегания слоев и слабо развитой тектоники размеры блоков увеличиваются до 4—6 км.

Блоки пород состоят из большого количества слоев с различными упругими характеристиками и меняющимися мощностями, углами наклона и глубиной залегания.

С некоторыми из этих слоев или их сочетаниями (пачки) связано образование интенсивных отраженных волн, прослеживаемых на больших интервалах наблюдений [1]. Изучение скоростных слоев в разрезе скважин было проведено по данным графиков акустической жесткости

$W(z)$, полученных путем перемножения значений скорости и плотности в каждой точке измерений.

На графиках акустической жесткости $W(z)$ были выделены интервалы (скоростные слои), характеризующиеся определенной закономерностью распределения и близкими значениями упругих параметров. Статистический анализ этих данных показал, что наибольшее распространение в пределах глубин 0,8 км имеют слои мощностью 20—40 м. Скоростные слои с меньшей мощностью можно не рассматривать, поскольку каждый в отдельности такой слой не может оказать существенного влияния на формирование основных составляющих волнового поля. Справедливость этого положения подтверждается результатами решения прямых задач и сопоставлением полученных синтетических сейсмограмм с экспериментальными.

Большую роль в определении скоростной структуры среды играют хранят свои параметры в пределах блоков однородного сейсмогеологического строения. Вследствие перераспределения упругих параметров внутри слоя на границах крупных блоков происходит изменение его структуры, приводящее либо к еще более резкому выделению этого слоя, либо к полному его сглаживанию до совпадения значений упругих параметров с осредненными характеристиками вмещающих его пород. Максимальная протяженность прослеживания скоростных слоев, определяемая размерами блоков, может составлять в среднем 2—4 км. Можно предположить, что на глубинах свыше 1 км выдержанность скоростных слоев, как правило, увеличивается. Последнее подтверждается устойчивостью динамических характеристик волн, отраженных от глубинных слоев [2—4].

Представляют интерес результаты изучения распределения упругих параметров в области контактов пород и зон тектонических нарушений, являющихся объектами сейсмических исследований. На основе анализа графиков акустической жесткости $W(z)$ было установлено, что скоростная модель последних не всегда может быть представлена резкой скоростной границей с большим перепадом значений упругих параметров. Как правило, на контактах пород наблюдается сложное распределение упругих параметров, которое может быть выражено в виде одного слоя неоднородного скоростного строения или сочетаний (пачек) тонких слоев [1].

Наиболее четкой скоростной границей в рассматриваемом районе является контакт между двумя основными разностями пород: туфогенной и вулканогенной фациями. Однако перепад значений упругих параметров может почти отсутствовать, если в контакте располагаются туфогенные породы и плагиоклазовые порфириты верхнего байоса или верхней юры. При залегании кварцевых порфиритов верхнего байоса под туфобрекчиями верхней юры возникает инверсионный перепад упругих параметров или отрицательный градиент этих параметров.

Большинство выделенных на графиках $W(z)$ скоростных слоев со-

зоны вторичного метаморфизма. Установлено, что породы, подверженные окварцеванию, серицитизации, альбитизации и другим вторичным процессам заметно меняют свои скоростные характеристики. Как правило, большинство из этих процессов приводит к уменьшению значений упругих параметров пород. Так, например, средняя плотность неизменеиных разностей порфиритов равна 2,74 *г/см*^{3}, а в зонах вторичного метаморфизма они уменьшают плотность до 2,56 *г/см*^{3}. Исключением являются эпидотизированные порфириты, упругие характеристики которых по сравнению с неизмененными разностями пород возрастают: плотность на 0.7 *г/см*^{3} и скорость на 0,5 *км/с*. Материалы сейсморазведки показывают, что этого вполне достаточно для уверенного выделения зон вторичного метаморфизма и, в частности, прослеживания фронта (поверхности) эпидотизированных порфиритов [2].

Несмотря на сильную изменчивость внутренней скоростной структуры зон вторичного метаморфизма, последние могут быть источниками образования интенсивных отраженных волн, прослеживаемых на больших интервалах наблюдений. Последнее наглядно подтверждается результатами сейсморазведочных работ в Кафанском районе, которые выявили и проследили на глубину и по площади сложную систему зон тектонических нарушений [2, 3].

Таким образом, скоростная модель вулканогенно-осадочных пород представляется в виде блоков относительно однородного строения с градиентом скорости в некоторых из них. Распределение упругих параметров в блоках обусловлено большим количеством физико-геологических факторов, главными из которых являются состав, возраст, условия залегания пород и наличие зон тектогенеза вторичного метаморфизма. Весь этот комплекс факторов определяет сложную скоростную структуру исследуемых пород, отличительным признаком которых является тонкослоистая дифференциация. С отдельными слоями или пачками тонких слоев связано образование большинства интенсивных отраженных волн, регистрируемых на экспериментальных сейсмограммах.

В заключение необходимо отметить, что основные черты скоростной модели вулканогенно-осадочных пород Кафанского района во многом аналогичны другим рудным районам Кавказа. Так, для них всех характерно блоковое строение среды и наличие градиента упругих параметров. Много общего устанавливается в проявлениях различного рода физико-геологических факторов, определяющих изменение упругих параметров в зависимости от состава, возраста, условий залегания и наличия зон вторичного метаморфизма. Последнее позволяет широко использовать полученные данные о скоростных характеристиках пород при изучении скоростной модели других рудных районов.

Ленинградский горный институт,
Управление геологии
Армянской ССР

Поступила 6. III. 1980.

Է. Մ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Օ. Վ. ՄԻՐՈՇՆԻԿՈՎԱ, ՅՈՒ. Գ. ՇՈՊԻՆ
Ա. Ա. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Շ. Վ. ՔԱՄԱԼՅԱՆ

ՂԱՓԱՆԻ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՇՐՋԱՆԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՄՈԴԵԼԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հիմնվելով Ղափանի հանքային շրջանի հրաբխածին-նստվածքային ապարների արագությունների բնույթի համակողմանի ուսումնասիրությունների վրա, կառուցված է միջավայրի արագությունների ընդհանրացված մոդելը։

Յույց է տրված առաձգական չափանիշների կախվածությունը ապարների հասակից, տեղադրման խորությունից, ինչպես նաև գնահատված է երկրորդական պրոցեսների ազդեցության աստիճանը, որոնք բուռ արագությունների կտրվածքի ստորաբաժանման մեջ կարևոր դեր ունեն։

Նշված է, որ տարբեր ապարների հման սահմանները և տեկտոնական խախտումների գոտիներն ունեն արագությունների բարդ բաշխում, որը ներկայացված է առաձգական չափանիշների կտրուկ անկումով, բարակ շերտով կամ շերտախմբով, իսկ որոշ դեպքերում՝ գրադիենտային շերտով։

E. M. KARAPETIAN, O. V. MIROSHNIKOVA, YU. G. SHOPIN,
A. A. KHALATIAN, SH. V. KAMALIAN

THE VELOCITY MODEL OF KAPHAN ORE-BEARING REGION

A b s t r a c t

A generalized velocity model of medium is formed on the basis of Kaphan region volcanogene-sedimentary rocks elastic characteristics complex investigation. It is shown that the characteristic feature of the investigated rocks velocity model is the thin-layer differentiation, the dismembering to large blocks of comparatively homogenous structure with a gradient of velocity and density in some of them. The seismic boundaries corresponding to rock contacts as well as to tectonic dislocations zones are mainly approximated by the model of thin layers or their combinations.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мирошникова О. В., Шопин Ю. Г.* Изучение тонкой скоростной структуры сейсмических границ в магматических породах рудных районов. Зап. ЛГИ, т. 78, вып. 2, 1978.
2. *Мирошникова О. В.* Сейсмические исследования глубинного строения Кафанского поднятия Армении. Зап. ЛГИ, т. 69, вып. 2, 1976.
3. *Мирошникова О. В., Сепоян Р. П., Халатян А. А., Шопин Ю. Г.* Основные элементы тектоники Кафанского рудного района по геофизическим данным. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 2, 1976.

4. *Шопин Ю. Г., Громова Н. Н., Мирошникова О. В., Камалян Ш. В., Халатян А. А.* Сейсмические исследования интрузивных массивов южной части Малого Кавказа. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 2, 1978.
5. *Шопин Ю. Г., Громова Н. Н., Мирошникови О. В.* Скоростная характеристика магматических пород северо-восточной части Малого Кавказа. В сб.: Вопросы разведочной геофизики, вып. Сейсморазведка, «Недра», Л., 1969.
6. *Шопин Ю. Г., Мирошникова О. В., Громова Н. Н.* Сейсморазведка при изучении морфологии интрузивных тел Малого Кавказа. В сб.: Вопросы разведочной геофизики. «Недра», Л., 1969.
7. *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. В сб.: Методы разведочной геофизики, вып. 18, «Недра», Л., 1973.