Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XXXVII, № 5, 77—81, 1984

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 550.834.015.2

Г. Ш. ШАГИНЯН

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ НА УСТАНОВКЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Распространение упругих волн в горных породах происходит с различной скоростью и сопровождается их затуханием. На затухание упругих волн в твердых телах, кроме расхождения, существенное влияние оказывает поглощение, обусловленное неидеальной упругостью среды. Изучение поглощающих свойств минерального вещества Земли представляет большой интерес для ряда разделов сейсмологии, поскольку они определяют процессы распространения сейсмических волн в Земле.

Экспериментальным изучением поглощения сейсмических волн занимались Г. А. Гамбурцев, И. С. Берзон, А. М. Епинатьева, Е. В. Карус, И. Л. Нерсесов, Ю. И. Васильев, Г. Н. Парийская, Л. В. Молотова, М. П. Воларович, Е. В. Жадин, А. И. Левыкин, Макдональд, Колис, Андерсон и др. Теория затухания сейсмических волн разработана Б. В. Дерягиным.

В лабораторных условиях изучение поглощения упругих волн в твердых телах проводилось, в основном, при комнатной температуре и атмосферном давлении. Однако, для геофизики наибольший интерес представляет изучение параметров поглощения упругих волн в горных породах при высоких давлениях и температурах. Работы такого характера в литературе немногочисленны, поскольку изучение параметров поглощения при высоких давлениях связано с большими экспериментальными трудностями. Поглощающие свойства горных пород при высоких температурах и атмосферном давлении изучались М. П. Воларовичем и А. С. Гурвичем [2], М. П. Воларовичем, А. И. Левыкиным и А. И. Фарберовым (резонансным методом) [8], М. П. Воларовичем, А. И. Левыкиным и В. П. Сизовым (методом многократных отраженных импульсов) [5], а также А. И. Левыкиным и А. И. Фарберовым (ультразвуковым методом просвечивания) [14]. Влияние давления до 4 *кбар* при комнатной температуре на поглощающие свойства горных пород изучалось Ф. Берчем (резонансным методом) [15] и И. Ванеком, К. Клима, З. Просом (методом обменных волн) на установке высокого давления М. П. Воларовича [1], а также М. П.Воларовичем и А. И. Левыкиным (методом многократно отраженных ультразвуковых импульсов) [6, 7, 9, 10]. Эксперименты же В. М. Меркуловой проводились в условиях одноосного сжатия до 1 *кбар* [11, 12]. Полученные авторами результаты несколько различны, вероятно, из-за неодинаковых методик проведения экспериментов.

Исследований по поглощению упругих волн в условиях высоких давлений проведено очень мало, что, по-видимому, объясняется значительными трудностями технического и методического характера, с которыми

приходится сталкиваться экспериментаторам при подобных исследованиях. Опытов же по поглощению упругих волн при одновременном воздействии высоких давлений и температур кроме [3] не имеется.

Специальная установка высокого давления и температуры [4] с использованием трех пьезоэлектрических датчиков, два из которых располагались непосредственно на торцах образца, а третий вне камеры высокого давления, позволила не только увеличить точность измерения скоростей упругих волн при высоких термодинамических параметрах, но и одновременно изучать поглощение упругих волн в горных породах. Пьезодатчик, который располагался вне камеры высокого давления, служил излучателем. Поскольку излучатель находился вне зоны высокой температуры, можно было использовать пьезокерамику ЦТС, которая обладает большим пьезомодулем по сравнению с пьезокварцем. Два других пьезодатчика из кварца монтировались непосредственно на образце и служили приемниками. Применение пьезокварцевых преобразователей, установленных на образце, позволило наблюдать изменение амплитуды первого вступления упругих волн на одном и другом приемнике при повышении температуры в условиях высокого давления. Кварц характеризуется малым поглощением упругих волн, обладает высокой стабильностью механических свойств и высокой механической добротностью [13], поэтому его использование в качестве кварцевых пьезодатчиков обеспечило хорошие результаты. На рис. 1 приведена фотография осциллограммы, полученной в эксперименте с оливинитом при давлении 10 *кбар*. Видно, что при комнатной температуре поглощение упругой волны в образце незначительное: амплитуды волн на верхнем кадре почти одинаковые (рис. 1а). При высоких температурах величина амплитуды первого вступления на первом приемнике почти не изменилась, а на втором приемнике сильно уменьшилась (рис. 1б). Неизменность амплитуды упругой волны на первом приемнике в обоих кадрах означает, что при повышении температуры почти не наблюдается затухание в металлических деталях-наковальне и поршне. Кроме того, это доказывает, что пьезоэффект кварца не уменьшается с повышением температуры. Уменьшение амплитуды первого вступления на втором приемнике характеризует затухание упругой волны в образце оливинита. Затухание упругой волны оценивалось в нашем случае по отношению амплитуд в опытах с разными температурами.

На рис. 2 показано отношение начальной амплитуды к амплитуде при температуре измерения для некоторых изученных пород в функции температуры. Как видно, для минерала-граната изменение отношения этих амплитуд с температурой, а, следовательно, и затухание упругой волны меньше, чем для горных пород.

Зная величину отношения амплитуд при данной температуре, можно вычислить коэффициент поглощения α по формуле

$$A_n = A_1 \cdot e^{-\alpha r},$$

где A_1 — амплитуда первого принятого сигнала,
$A_n = A_2$ — амплитуда второго принятого сигнала,
r — длина образца.

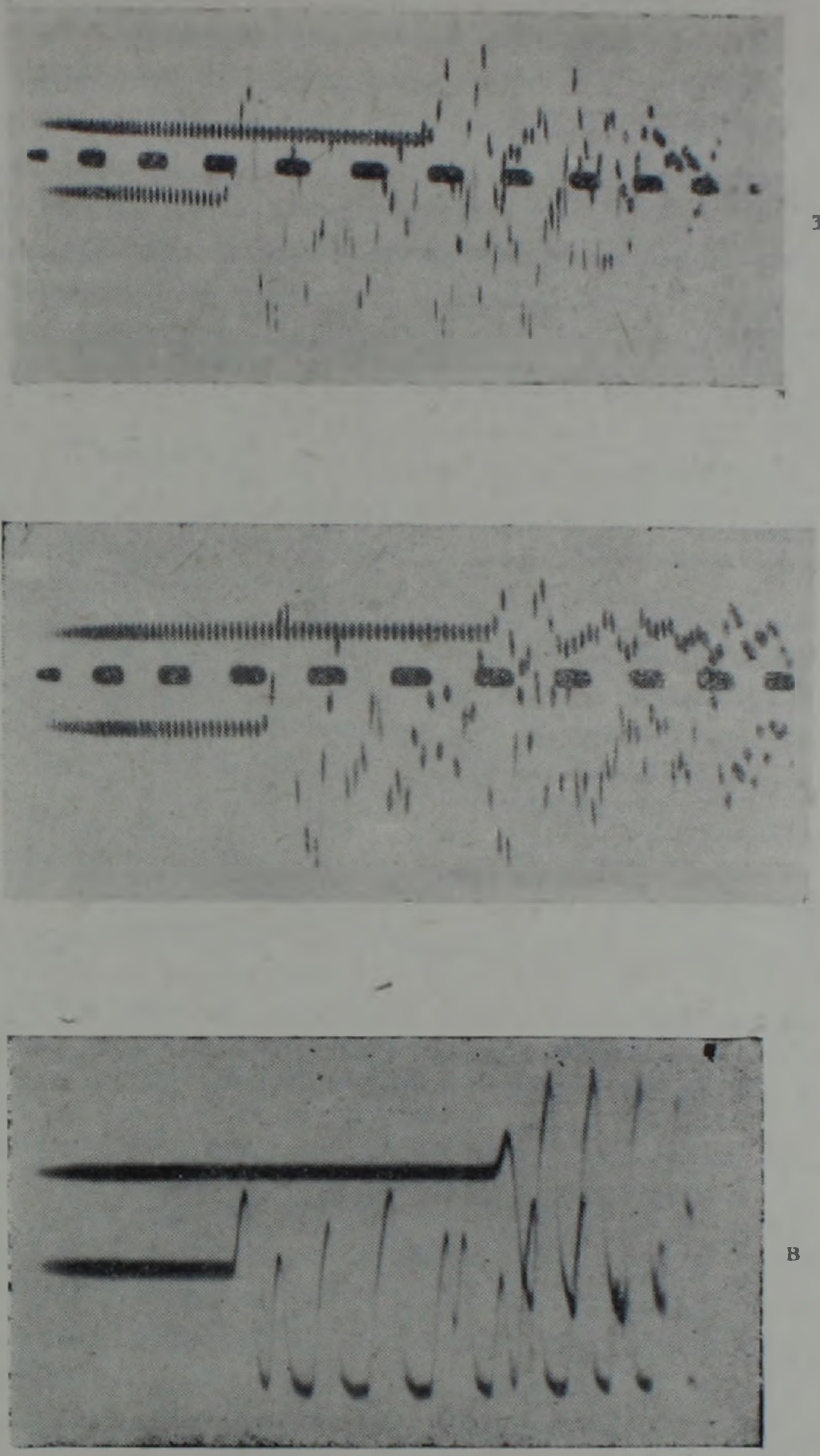

Рис. 1. Осциллограмма изменения величины амплитуды упругих волн для оливинита: а—давление 10 *кбар*, температура 20°С; б—давление 10 *кбар*, температура 500°С и граната 4191 в направлении (100) при давлении 10 *кбар*, температуре 500°С (в).

Ошибки в определении величины поглощения зависят от того, насколько полно и точно учтены все потери упругой энергии, связанные с конкретными условиями эксперимента, а также от точности измерения региструемых величин. В эксперименте непосредственно измерялись амплитуды упругой волны, зарегистрированные одним и другим приемником, и длина образца. Относительная ошибка в измерении длины образца составляет 0,05%, относительная ошибка измерения амплитуды варьирует от 1 до 7%. Исходя из этого, точность определения коэф-

фициента поглощения составляет 5—8%. Кроме того, необходимо учесть потери в слоях акустических контактов и за счет расхождения упругой энергии. Потери оценивались в результате использования эталонных образцов. Как оказалось, они увеличивают погрешность определения коэффициента поглощения на 5—6%. Таким образом можно считать, что относительная ошибка определения коэффициента поглощения составляет около 10%. Можно еще отметить, что в экспериментах пьезокерамический излучатель монтировался как в верхней, так и в нижней наковальне, поэтому определялось затухание в образце горной породы при распространении волны как от верхнего излучателя, так и от нижнего. В первом случае волна распространилась через наковальню, поршень и пирофиллитовую пластинку, а в другом случае через те

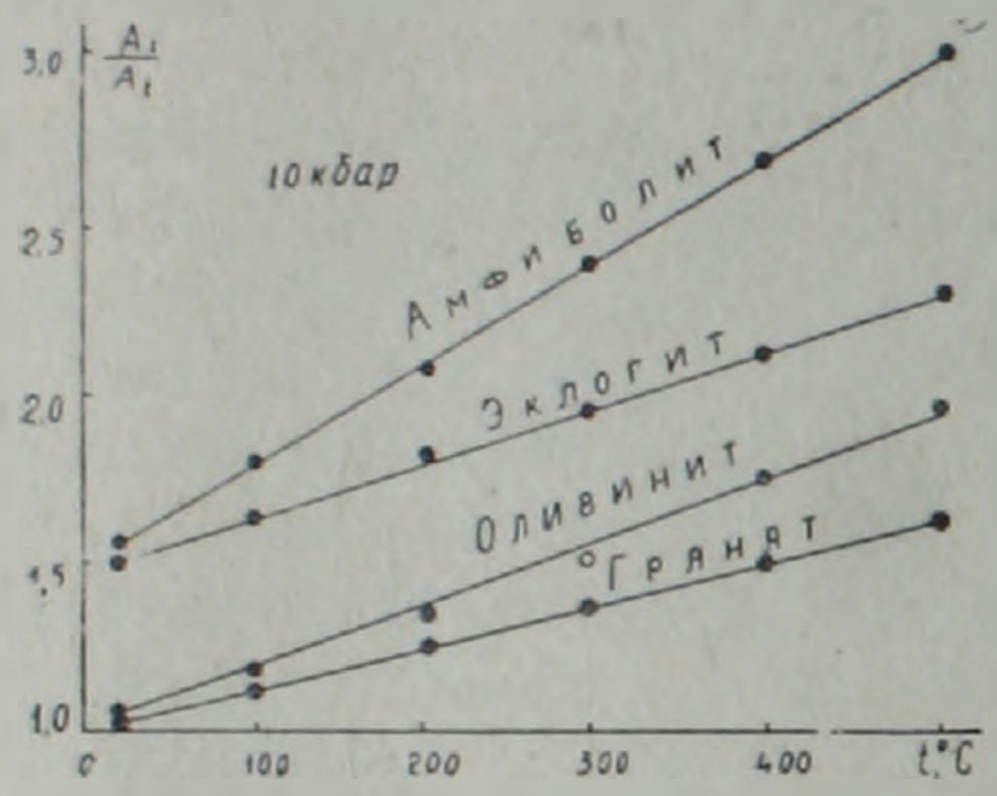

Рис. 2.

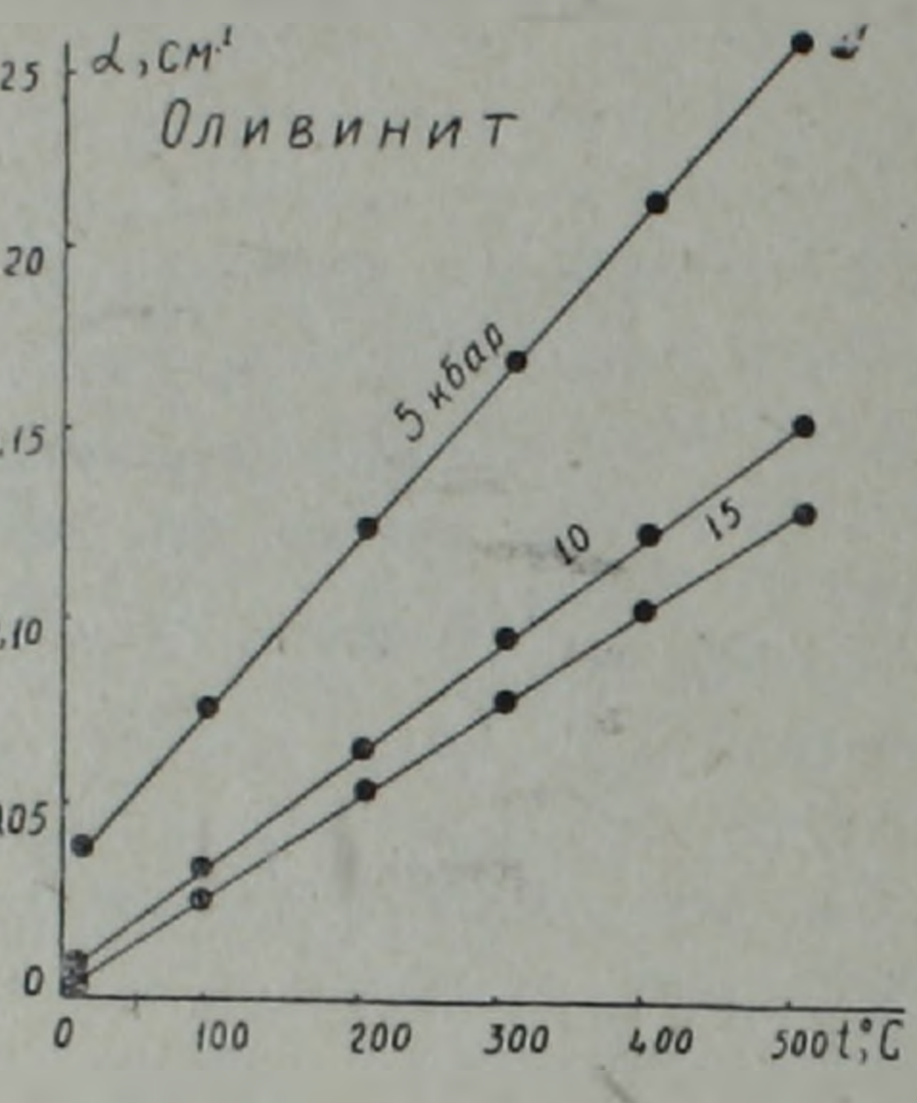

Рис. 3.

Рис. 2. Изобары относительного изменения амплитуды упругих волн при высоких температурах для минерала граната и горных пород: оливинита, эклогита, амфиболита.

Рис. 3. Изобары коэффициента поглощения для оливинита при температуре до 500°С.

же элементы, но другого размера. Таким образом можно было проследить влияние среды на коэффициент поглощения. Различие в величине коэффициента поглощения не наблюдалось. Как известно, коэффициент поглощения зависит от частоты, в связи с этим все эксперименты проводились на частоте 2 *Мгц*. На рис. 3 представлены изобары коэффициента поглощения для образца оливинита. Из рисунка видно, что с температурой коэффициент поглощения α сильно увеличивается, причем это увеличение больше при меньших давлениях.

Полученные результаты для оливинита показывают, что на больших глубинах в земной коре при высоких давлениях под влиянием температуры величина коэффициента поглощения изменяется в несколько десятков раз, в то время как скорость упругих волн изменяется на 3—5%. Следовательно, при изучении строения и состава земной коры и верхней мантии, кроме лабораторных опытов по изучению скорости упругих волн при высоких термодинамических параметрах, необходимо измерять поглощение упругих волн как более чувствительный параметр к изменениям давления, и в особенности температуры, что поможет геофизикам проводить более правильную интерпретацию полевых сейсмических наблюдений.

Ереванский политехнический институт

Поступила 26. IV. 1983.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ванек И. Клима К., Прос Э.* Особенности методики измерения поглощения упругих волн на образцах горных пород. Известия АН СССР, сер. геофиз., № 5, 1962
2. *Воларович М. П., Гурвич А. С.* Исследование динамического модуля упругости горных пород в зависимости от температуры. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 4, 1957.
3. *Воларович М. П., Баюк Е. И., Шагинян Г. Ш.* Исследование скоростей продольных волн и их поглощения в горных породах и минералах при давлениях до 15 *кбар* и температурах до 600°С. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 7, 1977.
4. *Воларович М. П., Вегуни А. Т., Баюк Е. И., Шагинян Г. Ш.* Влияние температуры до 800°С на скорость и поглощение продольных волн в андезитовых породах Армении при давлении до 20 *кбар*. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, № 5, 1979.
5. *Воларович М. П., Левыкин А. И., Сизов В. П.* Исследование затухания упругих волн в образцах горных пород. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 8, 1960.
6. *Воларович М. П.* Исследования упругих и поглощающих свойств горных пород при высоких давлениях. Труды 6-го Совещания по эксперим. и техн. минералогии и петрографии. Изд. АН СССР, М., 1962.
7. *Воларович М. П.* Исследования физико-механических свойств горных пород при высоких давлениях. В кн.: Экспериментальные исследования в области глубинных процессов. Изд. АН СССР, М., 1962.
8. *Воларович М. П., Левыкин А. И., Фарберов А. И.* Исследование модуля Юнга и затухание упругих волн в образцах лав вулканов Камчатки. В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971.
9. *Левыкин А. И.* Затухание ультразвуковых волн в образцах горных пород на разных частотах. Изв. АН СССР, серия геофиз., №3, 1962.
10. *Левыкин А. И.* Поглощение и скорости продольных и поперечных упругих волн в образцах горных пород при всесторонних давлениях до 4000 *кг/см*^{2}. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 2, 1962.
11. *Меркулова В. М.*, Частотная зависимость затухания ультразвука в горных породах для мегагерцевой области. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 8, 1966.
12. *Меркулова В. М.* Поглощение ультразвуковых волн в горных породах в области частого 10—160 *кгц*. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 6, 1968.
13. *Меркулов Л. Г.* Поглощение ультразвуковых волн в кварце. Сб. по ультраакустике МОПН, № 11, 1960.
14. *Фарберов А. И., Соколов Л. Н., Левыкин А. И., Зубков С. И., Ермаков В. А.* Экспериментальные исследования скорости и затухания ультразвука в частично и полностью расплавленных эффузивах. Докл. АН СССР, 220, № 2, 1975.
15. *Birch F., Bancroft D.* The effect of pressure on the rigidity of rocks. J. Geol., 46, 59, 119, 1938.