

УДК 550.85

М. П. ВОЛАРОВИЧ, А. Т. ВЕГУНИ, Е. И. БАЮК, Г. Ш. ШАГИНИАН

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ И ПОГЛОЩЕНИЕ
ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН В АНДЕЗИТОВЫХ ПОРОДАХ АРМЕНИИ
ПРИ ДАВЛЕНИИ ДО 15 кбар

Исследование физических характеристик горных пород в условиях высоких термодинамических параметров важно при изучении строения и состава земной коры и верхней мантии. В настоящее время имеются данные об упругих свойствах горных пород при высоких давлениях и комнатной температуре [4,5,8]. Известны немногочисленные сведения о влиянии температуры на скорости упругих волн в горных породах, испытанных при высоких давлениях [1,8,3,9—11, 13]. Литературные данные о поглощении продольных волн в образцах горных пород получены в основном при комнатной температуре и атмосферном давлении. Имеются только несколько работ о влиянии температуры на поглощающие свойства горных пород при атмосферном давлении [2] и влиянии давления до 4 кбар при комнатной температуре на поглощение упругих волн в горных породах [3]. Результатов о поглощении упругих волн при одновременном воздействии высоких давлений и температур не известно. Между тем поглощающие свойства горных пород земной коры изменяются в несколько раз больше, чем скорости упругих волн. В связи с этим важным является комплексное экспериментальное исследование скоростей и поглощения упругих волн в различных горных породах при одновременном воздействии высоких давлений и температур.

Опыты проводились в проблемной лаборатории экспериментальной сейсмогеологии Ереванского политехнического института на установке, аналогичной той, которая ранее была сконструирована и изготовлена в лаборатории высоких давлений Института физики Земли АН СССР [6]. На рис. 1 показан разрез канала камеры высокого давления. Камера представляет собой цилиндр 1, изготовленный из твердого сплава ВК—8, запрессованный в остальное кольцо с натягом, обеспечивающим эффективную боковую поддержку (на рис. 1 стальное кольцо не показано). Канал камеры с одной стороны запирается подвижным поршнем 2, а с другой—электроводом 3. Внутри камеры помещается составной нагреватель 4. Пьезокварцевые датчики 5 частотой 2 мГц монтируются непосредственно на испытуемом образце 6 диаметром 12 мм, длиной 20 мм. Они позволяют проводить измерения скорости упругих волн до 800°C и выше. Температура образца горной породы измеряется с помощью хромель-алюмелевой термопары 7, за-

щищенной фарфоровыми трубками. Термопара выводится через лазы в нижней опорной плите. Нагреватель и электроввод изолируются от камеры высокого давления пирофиллитовыми цилиндрами 8, служащими электро- и теплоизоляторами, а также средой, передающей давление на образец, и слюдяной прокладкой 9.

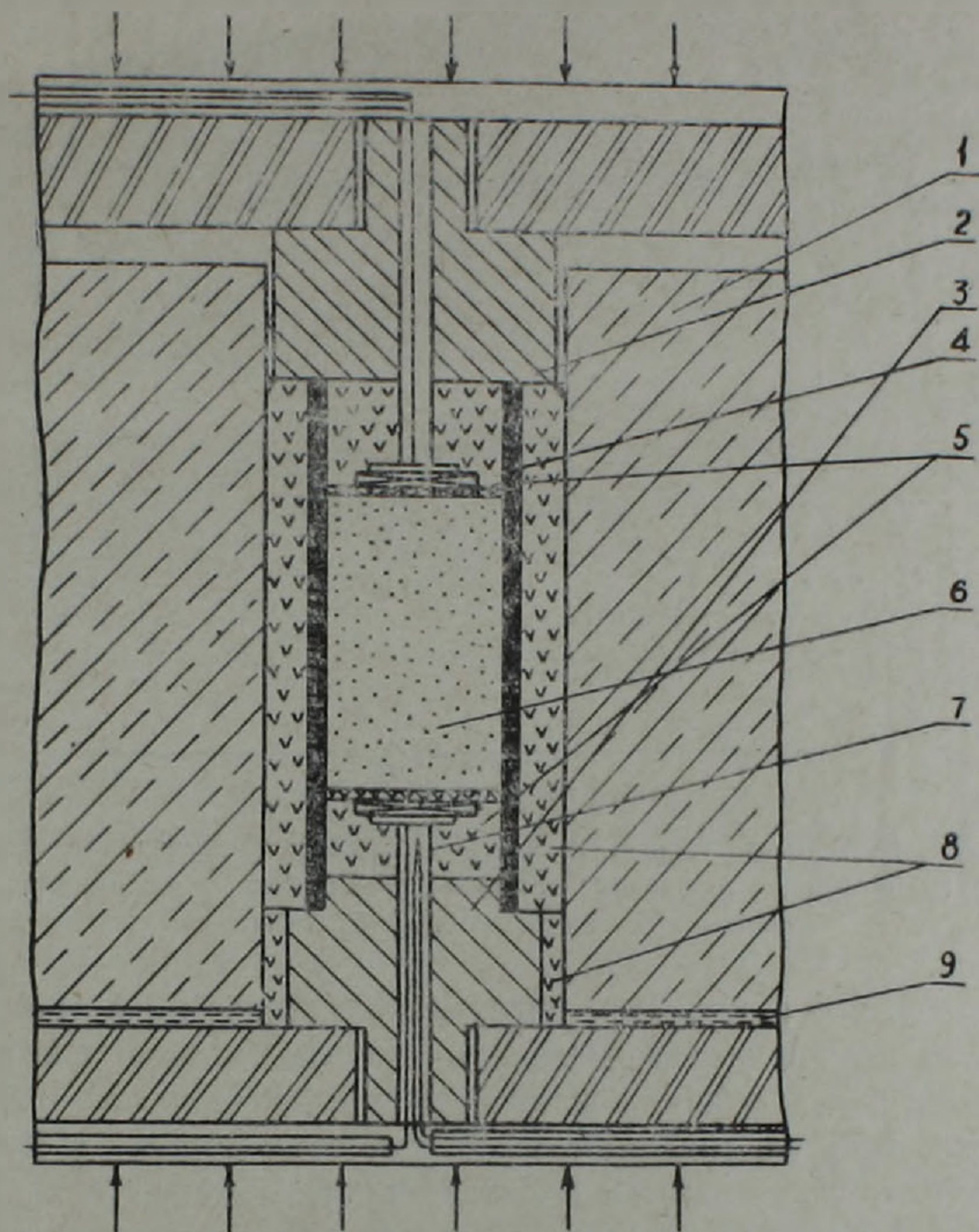


Рис. 1. Установка камеры высокого давления и температуры: 1—камера, 2—поршень, 3—электроввод, 4—нагреватель, 5—пьезодатчик, 6—образец, 7—термопара, 8—пирофиллит, 9—изоляция из слюды.

При изучении температурного поля в камеру вводятся одновременно 2—3 термопары, которые контролируют температуру в центре образца, для чего в ней просверливается отверстие, у торцов и у образующей образца. При 700°C различие температуры между торцовой и центральной частью образца составляет 10°C , а радиальный градиент не превышает $0,8 \text{ мм град}$. Особое место в методических опытах было уделено вопросу распределения давления в камере высокого давления, так как в качестве среды, передающей давление, использовался пирофиллит. На рис. 2 приведены результаты для скоростей продольных волн, полученные для андезита на двух установках, когда сре-

дой, передающей давление, служит свинец—верхняя кривая и пиррофиллит—нижняя кривая. Из рисунка видно, что данные существенно отличаются друг от друга. Это вызвано тем, что при комнатной температуре и малых давлениях пиррофиллит не обладает пластичностью, и давление в образце породы оказывается в этом случае далеко не гид-

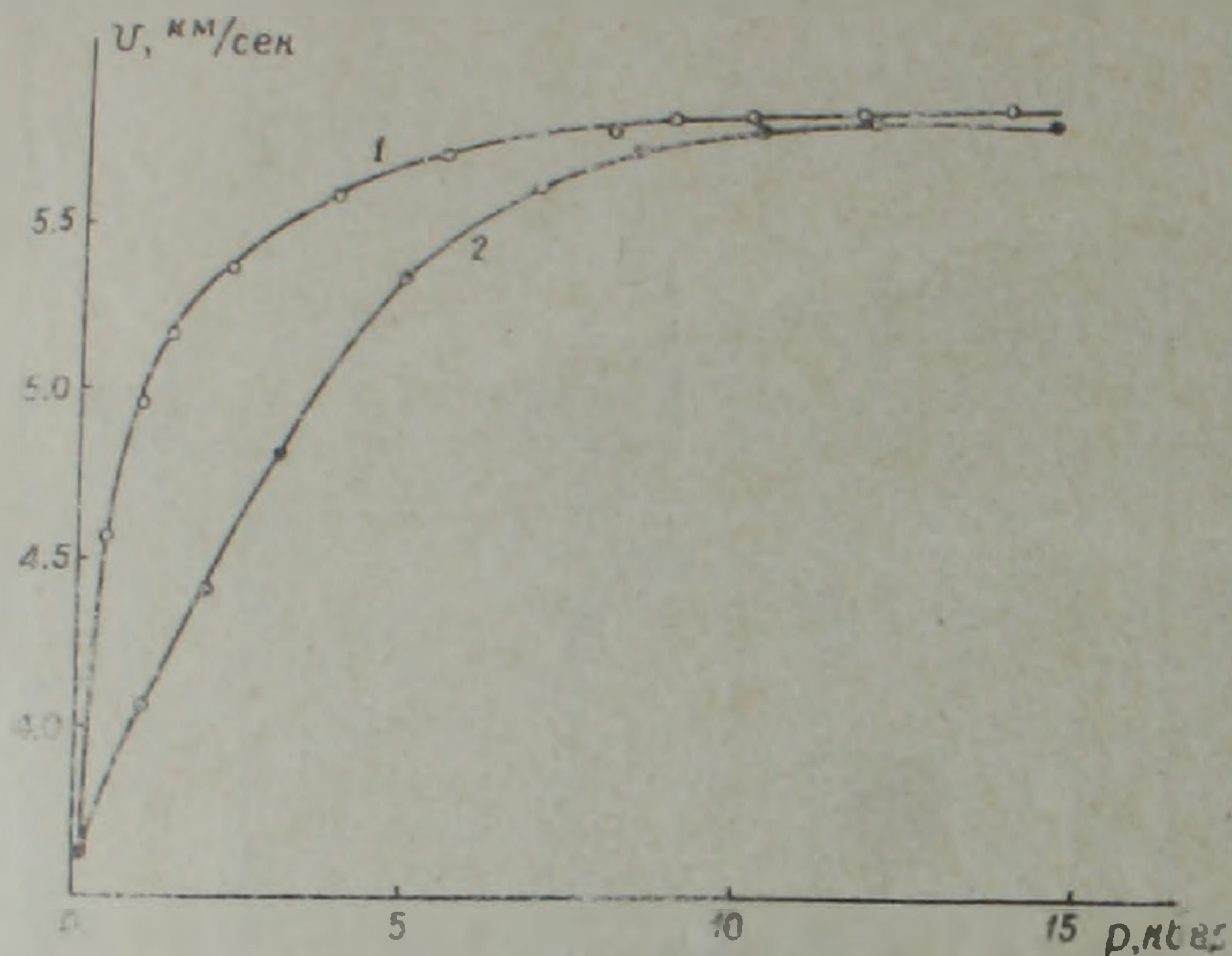


Рис. 2. Зависимость скорости продольных волн от давления, для андезита: 1—образец в свинцовой оболочке, 2—образец в пиррофиллитовой оболочке без предварительного нагревания.

ростатическим. В результате в образце появляются микротрещины, которые в начальном интервале давлений сильно снижают скорость упругих волн. В дальнейших опытах после предварительного обжатия до нескольких кбар пиррофиллитовая оболочка нагревается до 150°C . После двух-трех циклов нагрева пиррофиллит, передающий давление, становится достаточно пластичным, и напряжение в испытуемом образце получается близким к гидростатическому. Результаты опытов, проведенных по этой методике для андезита и минерала данбурита, изображены на рис. 3. Как видно, в этом случае получается хорошее совпадение результатов. Большое внимание было уделено последовательности проведения эксперимента, т. е. температура в камере повышалась не раньше, чем давление достигало 4—5 кбар.

Метод измерения скоростей продольных волн отличается от ранее известных тем, что одновременно используются три пьезодатчика ультразвука вместо двух. Излучатель из пьезокерамики ЦТС располагается в наковальне, вне зоны влияния высокой температуры (на рис. 1 излучатель не показан). Два других из кварца монтируются непосредственно на образце и служат приемниками. Время прохождения ультразвука через образец определяется по разнице между временем пер-

вого вступления в обоих приемниках. Использование такой методики измерения скоростей продольных волн позволяет одновременно на том же образце определить поглощение упругих волн посредством наблюдения за изменением амплитуды первого вступления в двух приемниках.

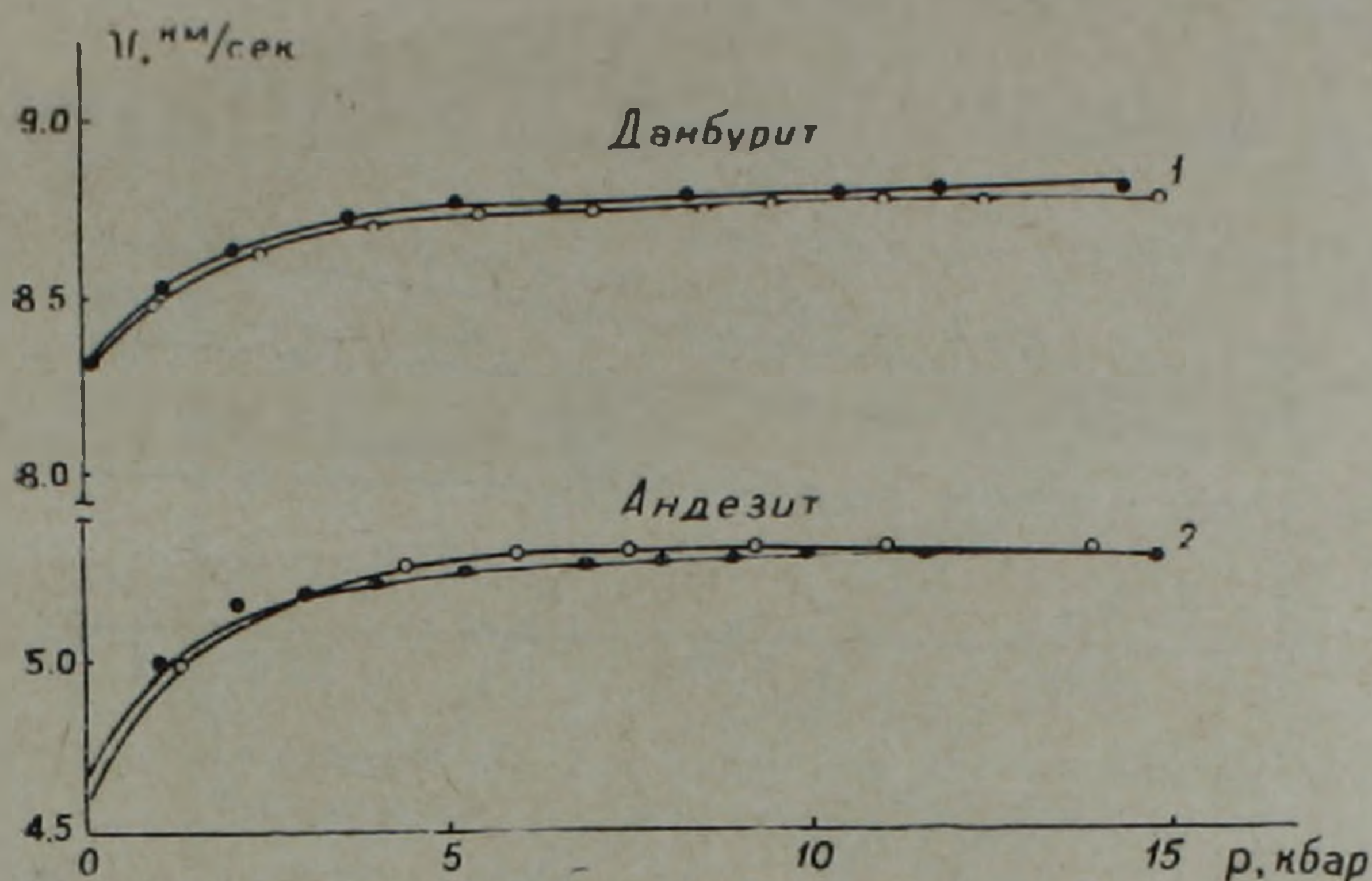


Рис. 3. Зависимость скорости продольных волн от давления для минералов Дамбурита (1) и андезита (2), точки — образец в свинцовой оболочке, кружки — образец в пирофиллитовой оболочке с предварительным нагреванием.

Влияние температуры на скорость продольных волн при высоких давлениях было изучено для андезитов Армении, которые ранее исследованы в условиях высоких давлений при комнатной температуре [7]. Андезиты относятся к эффузивным породам и, являясь излившимися аналогами кислых пород, характеризуются, как правило, более низкими скоростями продольных волн, чем интрузивные породы и менее резким возрастанием их при высоких давлениях. Это объясняется петрографическими особенностями структуры эффузивных пород: наличием объемной пористости и стекловатого вещества. На рис. 4 показано влияние температуры до 60°C на скорость v при 10 кбар для двух образцов андезита с различным содержанием стеклообразного вещества. Как видно из рис. 4 и таблицы 1, температура почти не влияет на скорость продольных волн в андезитовых породах при высоких давлениях, а в некоторых случаях (образец 4402) даже немного увеличивается с повышением температуры. По-видимому, наличие стеклообразной массы влияет на характер изменения v с температурой, причем в андезите 4402 содержание стеклообразной фазы больше 70%, чем в андезите 4401 — 50%. Для того, чтобы убедиться, увеличивает ли содержание стеклообразного вещества скорость с возрастанием температуры, была изучена при высоких давлениях и температурах скорость

продольных волн у кварцевого стекла. Оказалось, что действительно давление у него понижает скорость, а с повышением температуры v возрастает от 5,47 км/сек при комнатной температуре до 5,78 км/сек. при 600°C. Степень изменения скорости для него равна 9,5 м/сек. град. Следует отметить, что ранее Хьюзом был получен аналогичный результат на базальтовом стекле при давлении 7 кбар и 300°C (на рис. 4 пунктир-

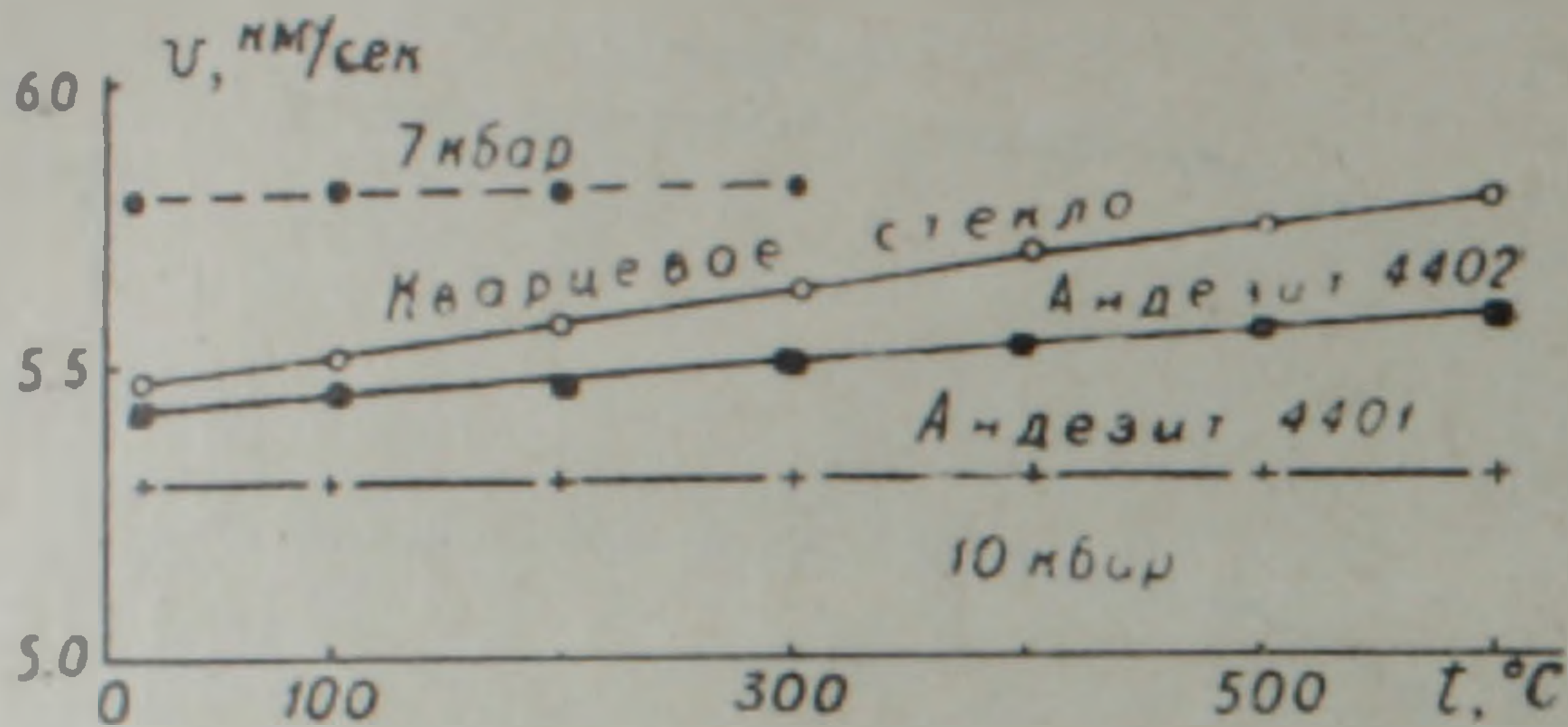


Рис. 4. Изменения скорости продольных волн для кварцевого стекла, андезитов 4401, 4402, пунктирная линия—по данным [13].

Таблица 1

Результаты изучения различных образцов андезитов

№ образца	Наименование породы	$P_{\max} \quad \dot{\epsilon}_{\max}$ кбар	$\Delta v / \Delta t$ м/сек град	K/v_p 1/град $\times 10^{-6}$	α при 20°C см ⁻¹	α при 500°C см ⁻¹
4401	Андезит (50—60% стекла)	10 600	0	0	0,075	0,281
4404	Андезит (50%)	10 600	0	0	0,067	0,324
4381	Андезит (50%)	10 560	0	0	—	—
4393	Андезит (60%)	10 610	0	0	—	—
4399	Андезит (50—60%)	10 500	0	0	—	—
4403	Андезит (60%)	10 540	-0,083	-1,57	0,165	0,370
4398	Андезит (80%)	10 510	-0,09	-1,54	0,195	0,548
4268	Андезит (80%)	10 600	-0,079	-1,55	—	—
4422	Андезит (70%)	10 600	-0,06	-1,12	—	—
4379	Андезит (80%)	10 600	-0,068	-1,29	—	—
4402	Андезит (70%)	10 600	-0,07	-1,28	0,170	0,357
	Кварцевое стекло	10 600	-0,50	-9,15	0,142	0,208

ная линия), однако автор не мог объяснить такое anomальное явление для базальта [11]. Эксперименты по изучению влияния давления и температуры на скорость v в естественных базальтовых стеклах проводили Б. П. Беликов и Э. А. Тонкова [10]. Полученные авторами результаты хорошо согласуются с нашими данными.

Применение в наших опытах пьезокварцевых преобразователей, установленных непосредственно на образце, позволило наблюдать изменение амплитуды продольных волн после прохождения через образец горной породы, а, следовательно, вычислить коэффициент поглощения α . Определение поглощения упругих волн связано с большими

трудностями, чем скорости, так как при этом требуется учитывать потери за счет расхождения упругой энергии: на преобразование упругой энергии в электрическую и обратно; на излучение в окружающую среду и т. д. Кроме того, коэффициент поглощения, как известно, зависит от частоты. В связи с этим, все эксперименты проводились на частоте 2 мГц, а потери определялись специальными опытами.

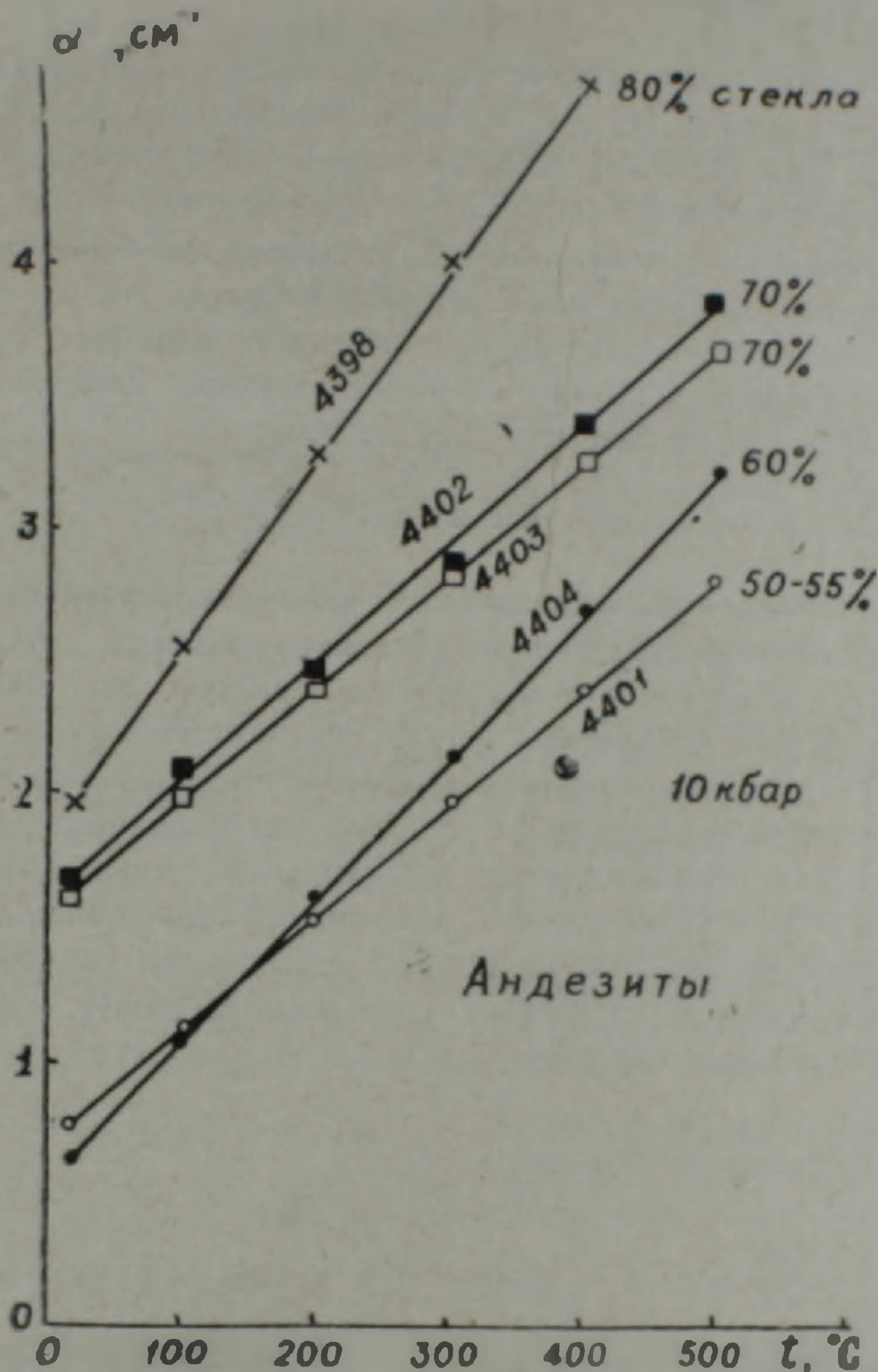


Рис. 5. Изобары коэффициента поглощения для андезитов 4398, 4402, 4403, 4404, 4401 при температурах до 500°C.

Коэффициент поглощения упругих волн в горных породах уменьшается с повышением давления при комнатных температурах, это согласуется с данными А. И. Левыкина [4]. При давлении более 1—2 кбар α изменяется мало, а в интервале 5—15 кбар практически остается постоянным. С повышением температуры от комнатной до 500—700°C в условиях высоких давлений, коэффициент поглощения в андезитовых горных породах увеличивается в несколько раз. Было

изучено влияние стеклофазы на величину коэффициента поглощения в андезитах при высоких давлениях и температурах. Результаты показывают (рис. 5), что при высоком давлении 10 кбар и комнатной температуре, коэффициент поглощения у этих образцов различается почти в 2 раза. В образцах 4401 и 4404 с содержанием стеклообразного вещества 50--60% коэффициенты поглощения соответственно равны 0,075 и 0,067 см⁻¹. А андезиты с большим содержанием стеклообразного вещества (70--80%) характеризуются более высокими значениями коэффициентов поглощения. Из рис. 5 и табл. 1 видно, что под воздействием температуры, при давлении 10 кбар коэффициент поглощения сильно увеличивается и равен 0,3--0,55 см⁻¹ при нагревании до 500°C. Это связано, по-видимому, с наличием в андезитах стеклофазы, которая при высоких температурах начинает размягчаться.

Полученные результаты показывают, что влияние температуры при высоких давлениях на поглощающие свойства андезитовых пород гораздо больше, чем на скорости упругих волн.

В ы в о д ы

1. Изготовлена установка высокого давления и разработана методика с тремя пьезоэлектрическими датчиками, которая позволяет при давлении до 15 кбар изучать влияние температуры до 800°C на скорость и поглощение продольных волн в образцах горных пород.

2. Проведенные эксперименты показали, что скорость продольных волн с увеличением температуры при высоких давлениях в эффузивных породах андезитового состава и кварцевом стекле, содержащих стеклообразное вещество, остается постоянной или увеличивается.

3. Поглощение продольных волн с увеличением температуры при высоких давлениях для изученных горных пород почти линейно возрастает, причем гораздо больше, чем скорость продольных волн.

Институт физики Земли АН СССР,
Ереванский политехнический институт

Մ. Պ. ՎԱՍԻՍԻԱՆ, Ա. Թ. ՎԵՂՈՐԻ, Ե. Ի. ԲԱՅՈՒԿ, Գ. Շ. ՇԱՀԻՆՅԱՆ

ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱՆԴԵԶԻՏԱՅԻՆ
ԱՊԱՐՆԵՐՈՒՄ ԵՐԿԱՅՆԱԿԻ ԱՆԴԵԶԻՏԱՆ ԵՎ ԿՎԱՐՑՄԱՆ ՎՐԱ
ՄԻՆՁԵՎ 15 ԿԲԱՐ ՃՆՇՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ապարների ֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրությունը բարձր ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում կարևոր նշանակություն ունի երկրակեղևի և վերին մանտիայի կառուցվածքը և բաղադրությունն ուսումնասիրելիս: Սակայն ներկայումս կան մի քանի աշխատանքներ բարձր ջերմաստիճանի և ճնշման միաժամանակյա ներգործության տակ առաձգական ալիքների

արագության ուսումնասիրման վերաբերյալ, ճնշման և ջերմաստիճանի միաժամանակյա ներգործության պայմաններում առաձգական ալիքների կլանման վերաբերյալ արգյունքներ հայտնի չեն:

Փորձերը դրվել են Նրեանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի փորձարարական սեյսմոտեկտոնիկայի պրոբլեմային լաբորատորիայում: Պատրաստված է բարձր ճնշման սարքավորում և մշակված է մեթոդիկա, որը թույլ է տալիս ուսումնասիրել մինչև 800°C ջերմաստիճանի ադիբացիայունը երկայնակի ալիքների կլանման և արագության վրա լեռնային ապարներում:

Բարձր ճնշման սակ երկայնակի ալիքների արագությունն անդեդիտային ապարներում ջերմաստիճանի բարձրացումից համարյա չի փոխվում, իսկ երկայնակի ալիքների կլանումը այս դեպքում խիստ բարձրանում է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Баюк Е. И., Тедеев Р. В. Скорость продольных волн в образцах горных пород при одновременном воздействии высоких давлений и температуры. Известия АН СССР, Физика Земли, № 8, 1974.
2. Волярович М. П., Гуревич А. С. Исследование динамического модуля упругости горных пород в зависимости от температуры. Известия АН СССР, серия геофизич., № 4, 1957.
3. Волярович М. П., Левыкин А. И., Сизов В. П. Исследование затухания упругих волн в образцах горных пород. Известия АН СССР, серия геофизич., № 3, 1960.
4. Волярович М. П., Баюк Е. И., Левыкин А. И., Томишевская И. С. Физико-механические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М., «Наука», 1964.
5. Волярович М. П., Баюк Е. И., Ефимова Г. А. Упругие свойства минералов при высоких давлениях. М., «Наука», 1975.
6. Волярович М. П., Баюк Е. И., Шагинян Г. Ш. Исследование скорости и поглощения продольных волн в горных породах и минералах при давлениях до 15 кбар и температурах до 600°C . Известия АН СССР, Физика Земли, № 7, 1977.
7. Волярович М. П., Шагинян Г. Ш., Баюк Е. И. Плотность и скоростные характеристики андезитовых пород Армении при высоких давлениях. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 13, 1977.
8. Лебедев Т. С., Корниец Д. В., Шаповал В. И., Корчин В. А. Упругие свойства горных пород при высоких давлениях. «Наукова думка», Киев, 1972.
9. Лебедев Т. С., Корчин В. А., Василяка В. Т. Исследования в гидростатических условиях упругих свойств минерального вещества при высоких термодинамических параметрах. Геофизич. сб., вып. 69, 1976.
10. Тонкова Э. А., Беликов Б. П., Абримова Е. Е. Поведение вулканических стекол в условиях высоких термодинамических параметров. Известия АН СССР, серия геологич., № 5, 1977.
11. Хьюз Д., Моретт К. I. Скорости упругих волн в гранитах при изменении давления и температуры. 2. Скорости упругих волн в основных изверженных породах при изменении давления и температуры. В кн. «Ультразвук в геофизике», М., «Мир», 1964.
12. Birch F. Elasticity of igneous rocks at high temperatures and pressures. Bul Geol. Soc. Amer., 54, 263, 1943.
13. Matsis'ima S. Compressional wave velocity in olivine nodules at high pressure and temperature. J. Phys. Earth, № 2, 1972.