

УДК 550.3:525.2

А. В. АРУТЮНЯН

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СКОРОСТЕЙ УПРУГИХ ВОЛН В ПОРОДАХ ИЗ ОФИОЛИТОВЫХ ПОЯСОВ АРМЕНИИ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 20 кбар

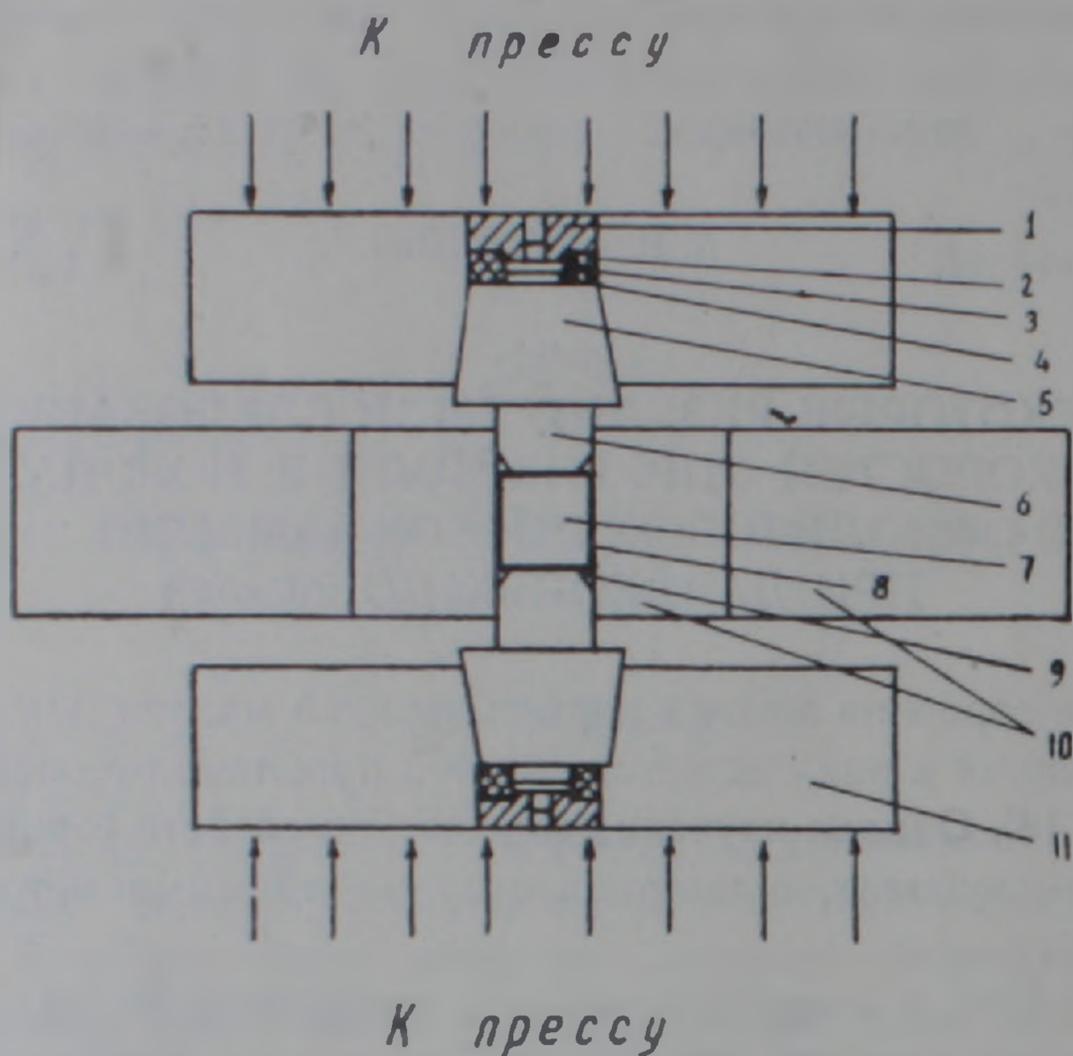
Изучение строения земной коры и верхней мантии Земли и процессов, протекающих в них, является важной проблемой геологии и геофизики [2, 3, 9, 14]. Однако изучение физических свойств горных пород, залегающих на глубинах, в настоящее время прямыми методами невозможно.

Особое место в комплексе исследований земной коры и верхней мантии занимает изучение упругих свойств горных пород и породообразующих минералов в напряженном состоянии при высоких термодинамических параметрах [1, 4], так как наличие таких сведений важно для правильного определения состава и строения слоев земной коры и верхней мантии Земли. В настоящее время разработаны специальные установки и методики определения распространения скоростей упругих волн при высоких давлениях и температурах [5, 7].

Нами была использована установка высокого давления [5], разработанная в Институте физики Земли АН СССР, в лаборатории высоких давлений, которая позволяет провести ультразвуковое измерение образцов пород в условиях квазигидростатического давления; передающей средой является свинец.

Схема установки высокого давления показана на фиг. 1. Она состоит из камеры высоких давлений (10), двух пуансонов (5) и двух поршней (6). Камера с рабочим каналом $\Phi = 20$ мм изготовлена из твердого сплава ВК и запрессована в поддерживающее кольцо. Поршни изготовлены из твердого сплава ВК. Торцы поршней притирались к пуансонам, изготовленным из сплавов ВК, которые также запрессовывались в поддерживающие кольца (11). В наковальни вмонтированы пьезоэлектрические преобразователи (4), из которых один является излучателем ультразвуковых волн, а другой—приемником. Они устанавливались на смазанной тонким слоем масла плоской поверхности пуансонов и прижимались резиновыми прокладками (1). Испытываемый образец (7) в свинцовой оболочке (8) вставляется в канал камеры. Давление создается при помощи 100-тонного прессы. Для предотвращения утечки свинца устанавливаются уплотнительные стальные кольца (9). Перемещение поршней под давлением измеряется с помощью индикаторов часового типа, с точностью 0,01 мм.

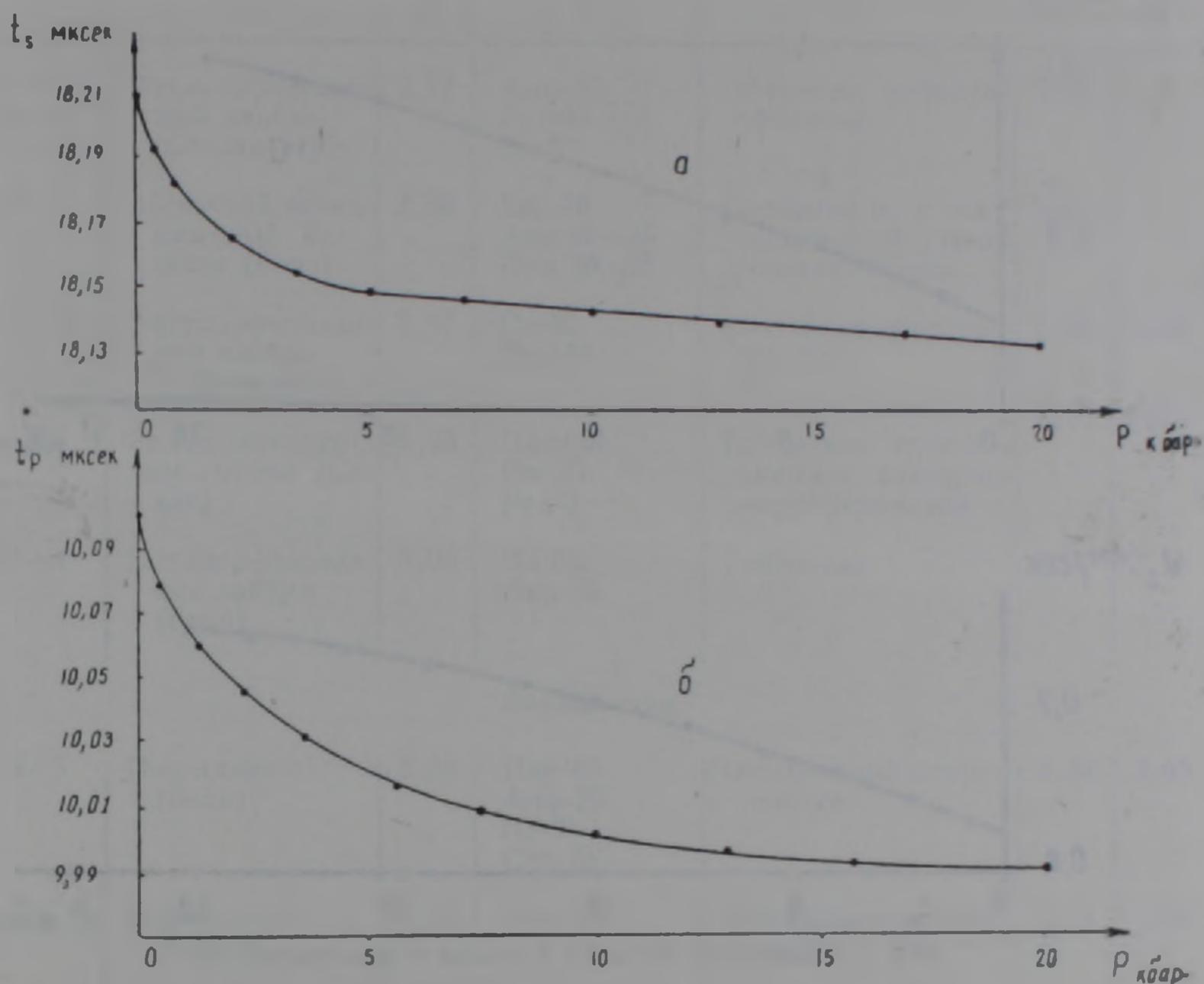
Изучение распространения упругих волн в исследованных образцах



Фиг. 1. Схема установки высокого давления.

горных пород проводилось импульсным ультразвуковым методом. Прямоугольный импульс от генератора 26-И с определенной заданной длительностью подается на пьезокерамический излучатель типа ЦТС и возбуждает в нем собственные упругие колебания с частотой 1—3 мГц. Пьезокерамический приемник преобразует упругие импульсы после прохождения через образец в электрический, затем импульс увеличивается усилителем типа УР-2 и подается на осциллограф, который позволяет регистрировать время пробега ультразвуковой волны с точностью 0,01 мк.сек. Для осуществления надежного акустического контакта при измерении скорости продольных волн используется трансформаторное масло, а при измерении скорости поперечных волн — раствор канифоли в спирте. Отношение радиуса стержня к длине волны составляет 1,2—1,8, что позволяет рассчитать скорость распространения продольных волн в безграничной среде.

М. П. Воларовичем с сотрудниками [5, 6, 7, 8] была разработана методика, позволяющая определить скорости распространения упругих волн при высоких давлениях. При данном методе непосредственным измерением определяются время пробега упругого импульса через систему поршень—свинцовая оболочка—образец. Время пробега в системе в конусах и поршнях предварительно определялось тарировкой приспособления без образца. При этом поршни (6) приводились в соприкосновение друг с другом. В результате многократных циклов попружения разпружки строилась тарировочная кривая (фиг. 2), показывающая зависимость от давления времени пробега упругой волны в системе. Время пробега волны в свинце (в ее торцовых частях) определяется на основании измерения скорости упругих волн от давления в свинце (фиг. 3)



Фиг. 2. Тарировочные кривые для определения задержки в системе нако-
вальня—поршень. а—для поперечных волн, б—для продольных волн.

и измерения толщины торцовых стенок свинцовой оболочки в процессе опыта. Изменение длины образца в процессе опыта определяется по смещению поршней, отсчет берется по двум индекаторам часового типа, расположенным по концам траверзы. На основании полученных данных вычислялись длина образца и время пробега упругого импульса через образец при различных величинах давления, по которым определялась скорость в образце как функция давления.

По вышеуказанной методике были исследованы скорости распространения упругих волн в образцах горных пород основного и ультраосновного состава, отобранных в офиолитовых поясах Армении.

Перед испытанием под давлением были определены физические параметры при нормальных условиях, минералогический состав и петро-структурные особенности образцов.

В таблице 1 приведены результаты, полученные при нормальных условиях для некоторых образцов.

Для испытания под высоким давлением были отобраны наиболее характерные образцы горных пород.

На фиг. 4 показаны зависимости V_p от давления для некоторых базальтов, диабазов и габбро. Во всем интервале давления скорости возрастают для всех образцов. Для диабазов и базальтов наблюдается зна-

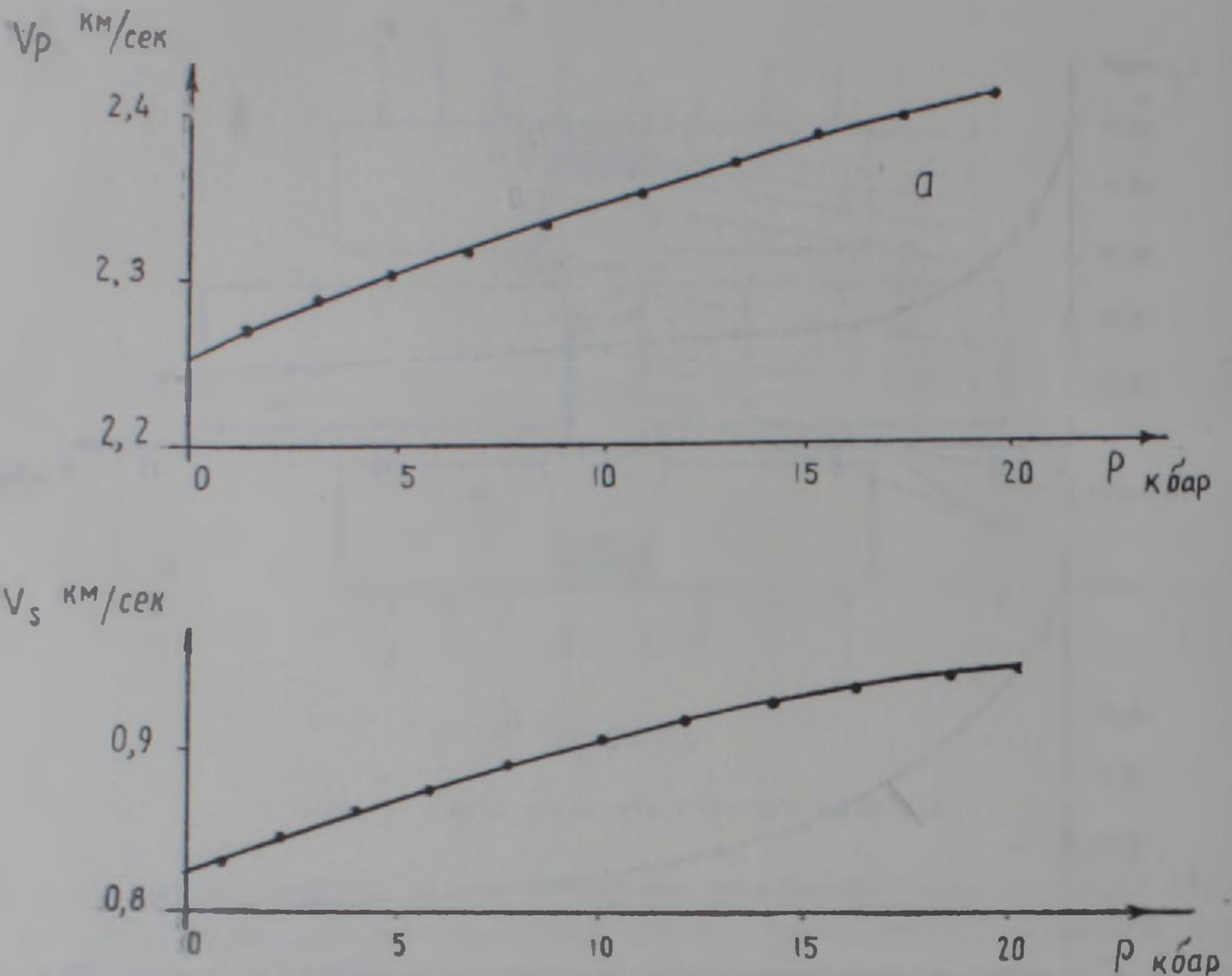
Фиг. 3. Изменения V_p и V_s в свинце с давлением.

Таблица 1

Некоторые упругие и петрографические характеристики образцов горных пород при нормальных условиях

№ образцов	Наименование и место отбора образцов горных пород	ρ , г/см ³	Минеральный состав в %	Структурные особенности	Скорость упругих волн, км/сек	
					V_p	V_s
1	2	3	4	5	6	7

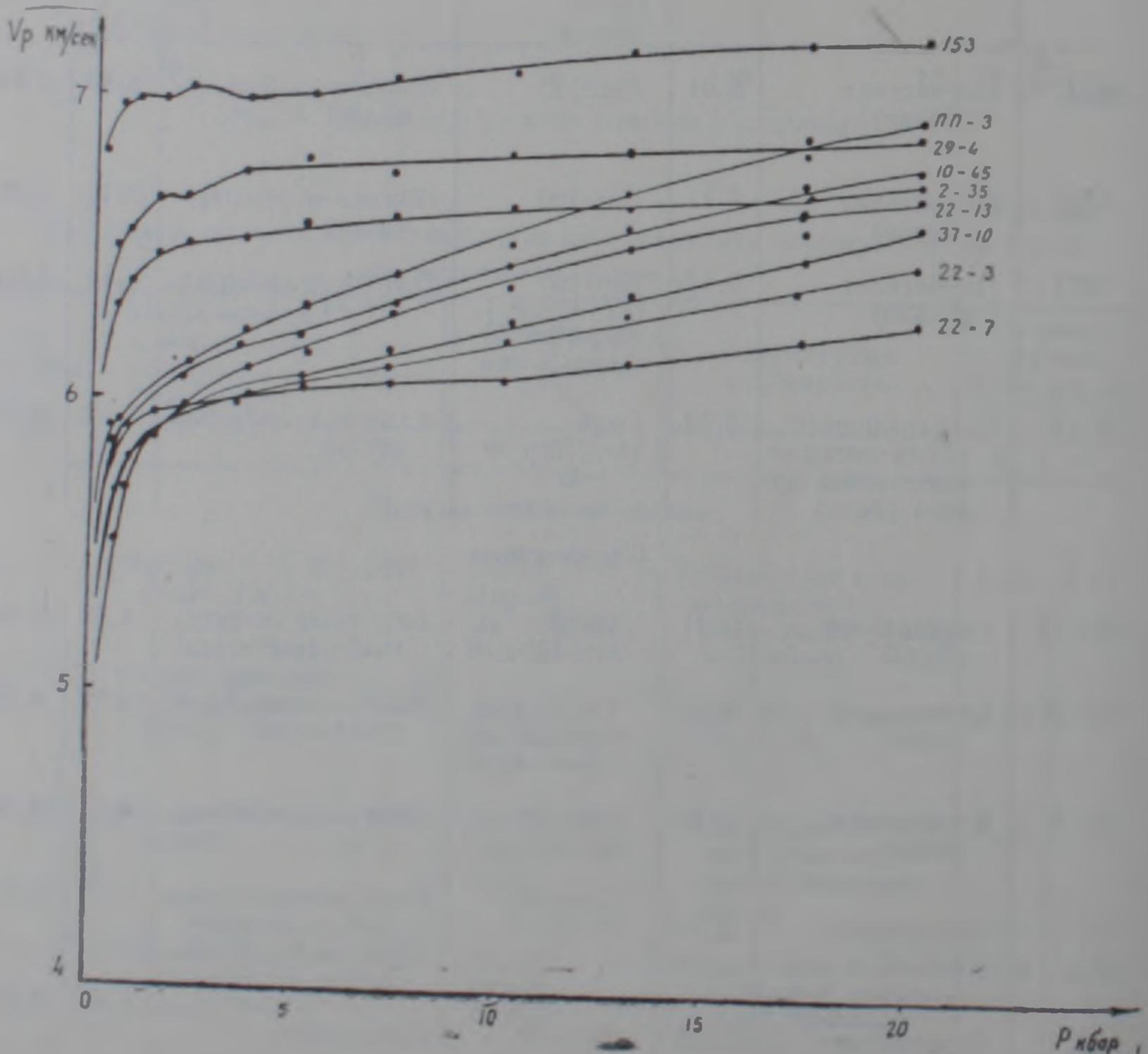
Породы основного состава

22-13	Вариолитовый базальт (Веди)	2,68	Пл-43 Пир-42 Ка+Хл-10 Руд-5	Порфиновая с вариолитовой структурой основной массы	5,00	2,92
37-10	Метаморфизованный диабаз (Веди)	2,74	Амф-55 Рог-40 Эп-5	Офитовая, пойкилоофитовая	5,20	—
10-45	Базальт (Степанаван)	2,74	Пл-50-55 Пир-30-35 Руд-5	Порфиновая, с интерсертальной структурой основной массы	5,19	—
22-7	Щелочной анальцимовый базальт (Веди)	2,76	Анц-40 Бар-25 Пир-35	Порфиновая с гялопилитовой структурой основной массы	5,44	3,36

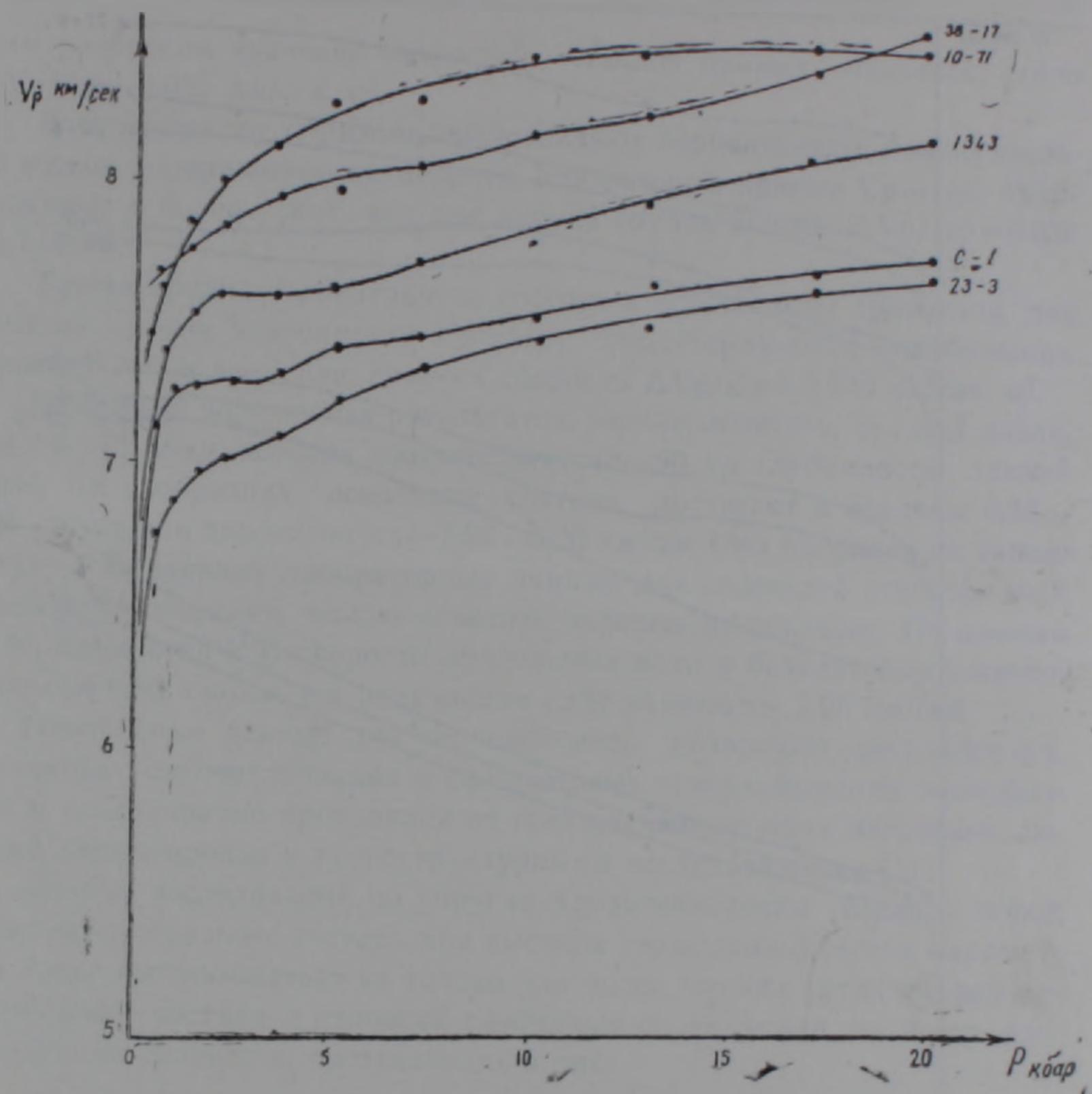
1	2	3	4	5	6	7
СН пп-3	Метаморфизованный диабаз (Степанаван)	2,77	Амф-55 Рог-40 Эп-5	Офитовая, пойкило-офитовая	5,10	—
22-3	Щелочной аналцимовый базальт (Веди)	2,80	Бар-30 Анц-40-45 Пир-20-25	Порфирировая, с гиалопидитовой стр-ой основной массы	5,84	—
2-35	Метаморфизованное габбро (Степанаван)	2,87	Пл-65 Пир-35	Аллоτριоморфозернистая	5,99	3,25
153	Роговообманковое габбро (Севан)	2,95	Пл-50 Рог-47 Руд-3	Габбровая, переходящая к аллотриоморфозернистой	6,80	3,85
29-4	Метаморфизованное габбро (Веди)	3,00	Пл-65 Пир-35	Габбровзья	5,97	3,37
Пироксениты						
23-3	Пироксенит (Веди)	2,98	Пир-45 Амф-25 Пл-25 Сер-25	Панидиморфнозернистая	6,47	3,65
С-1	Пироксенит (Севан)	3,01	Пир-100	Панидиморфнозернистая	5,89	3,84
1343	Пироксенит (Севан)	3,11	Пир-100	Панидиморфнозернистая	6,10	3,66
1071	Пироксенит (Севан)	3,18	Пир-86 Ол+Серп.+ Маг-10 Гросс-3-4	Панидиморфнозернистая	7,11	3,65
38-17	Гранат-пироксеновая метаморфизованная порода (Веди)	3,19	Гр.-65 Пл+Пир-30-35	Аллоτριоморфнозернистая	7,63	4,19
Серпентиниты						
31-11	Серпентинит (Веди)	2,41	Хр-86 Ант-14	Бластопорфировидная, решетчатая	4,32	2,33
38-5	Серпентинит (Веди)	2,44	Хр-75 Серп-20 Руд-3-5	Бластопорфировая, петельчатая	3,60	1,90
29-5	Серпентинит (Веди)	2,45	Серп-97 Хр-3	Поперечно-волокнистая	4,50	2,84
29-2	Серпентинит (Веди)	2,49	Серп-95- Руд-3-5	Поперечно-волокнистая, пластинчатая, мелковолокнистая	5,50	2,87
КТ 28-5	Серпентинит (Веди)	2,50	Серп-99 Руд-1	Петельчатая	4,87	2,52

1	2	3	4	5	6	7
28—4	Серпентинит (Веди)	2,60	Серп-99 Руд-1	Петельчатая, волок- нистая	5,17	2,44
1337	Серпентинит (Севан)	2,62	Хр-30 Ант-60—65 Ол-5—7	Петельчатая, пла- стинчатая	6,00	3,34
30—5	Серпентинит (Веди)	2,64	Хр-52 Ант-40 Руд-7—8	Решетчатая, лепид- областовая	5,55	3,41
38—9	Серпентинит (Веди)	2,78	Серп-84 Пир-10 Руд-5—6	Бластопорфировая, параллельно во- локнистая	6,76	3,46
23—5	Серпентинит (Веди)	2,88	Серп-99 Руд-1	Бластопорфировид- ная, петельчатая	6,22	3,46
27—9	Серпентинит (Веди)	2,94	Серп-99 Руд-1	Параллельно, волок- нистая, решетчатая	5,17	—

Пл—плагиоклаз, Пир—пироксен, Ол—оливин, Руд—рудный минерал, Серп—серпентинит, Эп—эпидот, Анц—анальцим, Ка—кальцит, Рог—роговая обманка, Амф—амфибол, Бар—баркевикит, Гр—гранат, Хр—хризотил, Ант—антигорит, Маг—магнетит, Гросс—гроссуляр, Хл—хлорит.



Фиг. 4. Изменение скорости V_p от давления в образцах: (153, 29—4, 2—35)—габбро, (ПП-3, 37—10)—диабазы, (10—45; 22—13; 22—3; 22—7)—базальты.

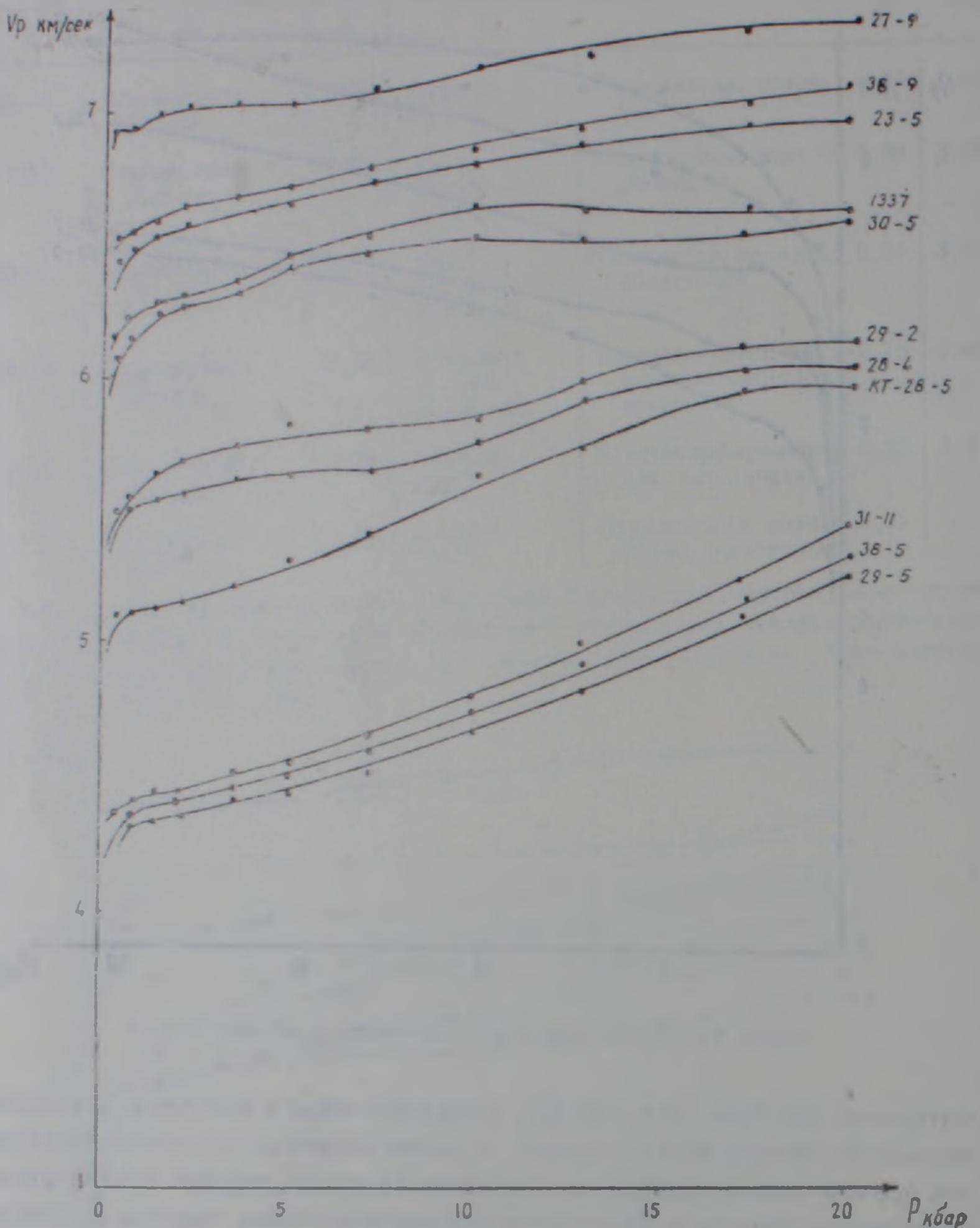


Фиг. 5. Изменение скорости V_p от давления в пироксенитах.

чительный разброс значений V_p , который связан с широким диапазоном вариаций минерального состава, а также петроструктурными различиями, причем распределение по значению скорости хорошо согласуется со значениями плотности. Некоторое перераспределение связано с влиянием трещиноватости и пористости, значительно снижающими скорость упругих волн. Скорость распространения продольных волн от давления в образцах габбро значительно выше, по сравнению с базальтами и диабазами. Прирост скорости с давлением в диапазоне 5—15 кбар составляет в среднем как для базальтов, так и диабазов $0,025$ км/сек.кб, а в породах габбро— $0,011$ км/сек.кб

На фиг. 5 приведены графики зависимости скорости V_p от давления для пироксенитов. Скорость в пироксенитах наиболее высокая. При давлении 20 кбар среднее значение скорости для указанных образцов равняется $7,96$ — $8,00$ км/сек, а в образце 38—17 достигает $8,35$ км/сек.

Как для некоторых пироксенитов, так и для некоторых пород основного состава в интервале 2—4 кб наблюдается незначительное снижение



Фиг. 6. Изменение скорости V_p от давления в серпентинитах.

скорости, которое, по-видимому, связывается структурными особенностями горных пород и требует дальнейшего исследования.

На фиг. 6 показаны графики зависимости скоростей продольных волн от давления для серпентинитов. Все кривые $V_p = f(p)$ можно разбить на три группы, различающиеся между собой значениями скоростей.

К первой группе, которая характеризуется наиболее высокими скоростями, относятся серпентиниты с большим содержанием антигорита. Для некоторых образцов с антигоритовым содержанием зафиксирован волнистый характер кривых, что объясняется, по-видимому, специфическими особенностями их структуры. Эта группа характеризуется наиболь-

шим разбросом значений скоростей. Наклон кривых меняется мало $\Delta V_p/\Delta p = 0,025$ км/сек. кб.

Вторую группу образцов представляют серпентиниты с относительно малым содержанием антигорита, для которых кривые $V_p = f(p)$ группируются в более узких, чем для первой группы пород, $\Delta V_p/\Delta p = 0,036$ км/сек. кб.

Третья группа серпентинитов состоит в основном из хризотила, для которых кривые зависимости $V_p = f(p)$ характеризуются наибольшим наклоном к оси давления, прирост скорости $\Delta V_p/\Delta p = 0,049$ км/сек. кб.

Исходя из полученных результатов, можно отметить, что при давлении 14—15 кбар, которое соответствует 45—50 км глубинности земной коры, V_p в образцах основного состава достигает в среднем 6,55—6,65 км/сек, а в пироксенитах—7,96—8,00 км/сек (без поправки на температуру). Сравнивая лабораторные данные для скоростей упругих волн с сейсмологическими, можно отметить хорошее их согласие. По данным Н. К. Карапетян [10], скорости продольных волн в базальтовом слое составляют 6,50 км/сек, а в подкоровом слое равняются 7,96 км/сек.

Полученные данные для серпентинитов позволяют предположить, что процесс серпентинизации в офиолитовых поясах Армении многофазный и неоднократно проявлялся во всех изученных нами интрузиях, который зафиксирован и петроструктурными исследованиями [11].

Данные исследований по упругим характеристикам горных пород более разнообразного состава при высоких термодинамических параметрах могут использоваться не только для более точного установления вещественного состава и строения глубинных слоев Земли, но и для распознавания процессов, протекающих в них.

Ереванский политехнический институт

Поступила 19 XII.1973.

Ա. Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՕՅԻՈՒՏԱՅԻՆ ԳՈՏԻՆԵՐԻ ԱՊԱՐՆԵՐՈՒՄ ԱԹԱԶԳԱԿԱՆ ԱՐԲՆԵՐԻ ՏԱՐԱՄՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇ ԱՐԳՅՈՒՆՔՆԵՐ ՄԻՆԶԵՎ 20 ԿԲԱՐ ՃՆՇՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո ւ փ ու մ

Հոդվածում տրված է Մոսկվայի հրկրի ֆիզիկայի ինստիտուտի բարձր ճնշումների լաբորատորիայում մշակված փորձերի կատարման մեթոդիկան: Ուսումնասիրված հիմքային և ուլտրահիմքային ապարներն ընտրված են Հայաստանի օֆիոլիտային գոտիներից: Որոշվել են այդ ապարների ֆիզիկական հատկությունները, միներալոգիական կազմը և ստրուկտուրային առանձնահատկությունները, որոնք ամփոփ ձևով բերված են աղյուսակում:

Բարձր ճնշման պայմաններում կատարված ուսումնասիրություններից հետևում է, որ հիմքային կազմի ապարներից զարրոներում առաձգական ուլիթների տարածման արագությունն ավելի մեծ է, քան դիաբազներում և բա-

դաշտներում, իսկ դիարագներում ավելի, քան բազալտներում: Ուլտրահիմ-
րային ապարներից պիրոքսենիտներում, հիմքային ապարների համեմատու-
թյամբ, նկատվում է առաձգական ալիքների տարածման ավելի բարձր արս-
զուիչուն:

Ստացված տվյալները համապատասխանում են կեղևի ստորին՝ «բազալ-
տային» շերտի և ենթակեղևային զանգվածների վերաբերյալ եղած գեոֆիզի-
կական տվյալներին:

Ստացված արդյունքները մեծ արժեք են ներկայացնում երկրակեղևի
խոր հորիզոնների և վերին պատյանի կազմն ու կառուցվածքը որոշելու հա-
մար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Афанасьев Г. Д. Еще раз о строении земной коры по геофизическим данным с по-
зиции петрографии. Изд. АН СССР, сер. геол., № 10, 1962.
2. Белоусов В. В. Земная кора и верхняя мантия материков. «Наука», М., 1966.
3. Воларович М. П. Исследование физико-механических свойств горных пород при раз-
личных давлениях. Труды I Всесоюзн. тект. физ. сов. Госгеолтехиздат, 1960.
4. Воларович М. П. Семинар по физическим свойствам горных пород при высоких дав-
лениях. Вестник АН СССР, № 8, 1962.
5. Воларович М. П., Левыкин А. И., Галдин Н. Е. Изучение скоростей продольных волн
в образцах горных пород при давлениях до 20000 кг/см². ДАН СССР, № 6, 157,
1964.
6. Воларович М. П., Стаховская З. И. Исследования модуля Юнга образцов горных
пород при всестороннем давлении до 5000 кг/см² методом изгиба. Изв. АН СССР,
сер. геофиз., № 5, 582, 1958.
7. Воларович М. П., Левыкин А. И. Измерение скоростей продольных волн в образцах
горных пород при давлении до 40000 кг/см². ДАН СССР, № 6, 165, 1965.
8. Воларович М. П., Киреевкова С. М., Баяк Е. И. Исследование скоростей продольных
волн и плотности эклогитов при давлениях до 17 кбар. Изв. АН СССР, сер. геол.,
№ 7, 1971.
9. Гутенберг Б. Физика земных недр. ИЛ, 1963.
10. Геология Арм. ССР, Геофизика, том X, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1972.
11. Геология Арм. ССР, том III, Петрография. Интрузивные породы. Изд. АН Арм.
ССР, Ереван, 1966.
12. Геология СССР, том 43. Армянская ССР, «Недра», 1970.
13. Лебедев Т. С., Корниец Д. В., Шаповал В. И., Корчин В. А. Упругие свойства гор-
ных пород при высоких давлениях. «Наукова думка», 1972.
14. Магницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли. «Недра», 1965.
15. Тектогеофизика и механические свойства горных пород. «Наука», Москва, 1971
16. Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах. Ма-
териалы Третьего Всесоюзного совещания. «Наукова думка», Киев, 1971.
17. Электрические и механические свойства горных пород при высоких давлениях. Тр.
ИФЗ АН СССР, № 37, 1966.