

УДК 550.3;525.2

ГЕОФИЗИКА

А. Н. Левыкин, А. В. Арутюнян

**Скорости упругих волн и плотность в карбонатных и
 изверженных кальцитсодержащих горных породах и лиственитах
 офиолитовых комплексов Армении при давлениях до 20 кб**

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 21/VI 1974)

Основными источниками информации строения и состава земной коры и верхней мантии являются сейсмические данные, при интерпретации которых возникают значительные трудности. В связи с этим в последнее время сильно возрос интерес к исследованиям скоростей упругих волн и плотностей горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах, как новых важных источников интерпретации. Изучение строения земной коры Армении, являющейся специфическим регионом, представляет особый интерес для геологии и геофизики. По современным представлениям офиолиты играют важную роль в происхождении и формировании земной коры континентов. Авторами были изучены ультразвуковым методом упругие свойства и плотность офиолитовых пород Армении. Офиолитовые выходы, из которых были отобраны образцы исследованных нами пород приурочены к глубинным Ереванским и Севано-Акеринским разломам, проходящим через всю территорию Армении с северо-запада на юго-восток.

В последнее время опубликован ряд работ по изучению скоростей распространения упругих волн в карбонатных породах (¹⁻⁴). Интерес к этим исследованиям обусловлен специфическим характером кривых зависимостей скоростей упругих волн от давления, связанный с перестройкой кристаллической структуры кальцита. Были получены количественно несогласующиеся результаты измерений. Несогласие объяснялось разными условиями опытов и петроструктурными различиями образцов. Исследовано влияние дисперсности (⁵) и температуры до 700°C (^{6,7}) на характер кривых $V_p = f(p)$ до 25 кб. Исследования скоростей упругих волн и плотности при давлениях в изверженных кальцитсодержащих породах и лиственитах не проводились.

Работа посвящена исследованию скоростей продольных v_p и поперечных v_s упругих волн и плотности ρ при давлениях до 20 кб в карбонатных и карбонатсодержащих эффузивах и лиственитах. Из-

мерения проводились в камере типа цилиндр-поршень по известной методике (⁸). Использовались образцы в виде цилиндра диаметром 17,5 и длиной 20 мм. Частота ультразвуковых колебаний составляла 1 и 3 Мгц. Некоторые данные изученных пород приведены в табл. 1. Общая пористость определялась пикнометрическим методом, а плотность гидростатическим взвешиванием.

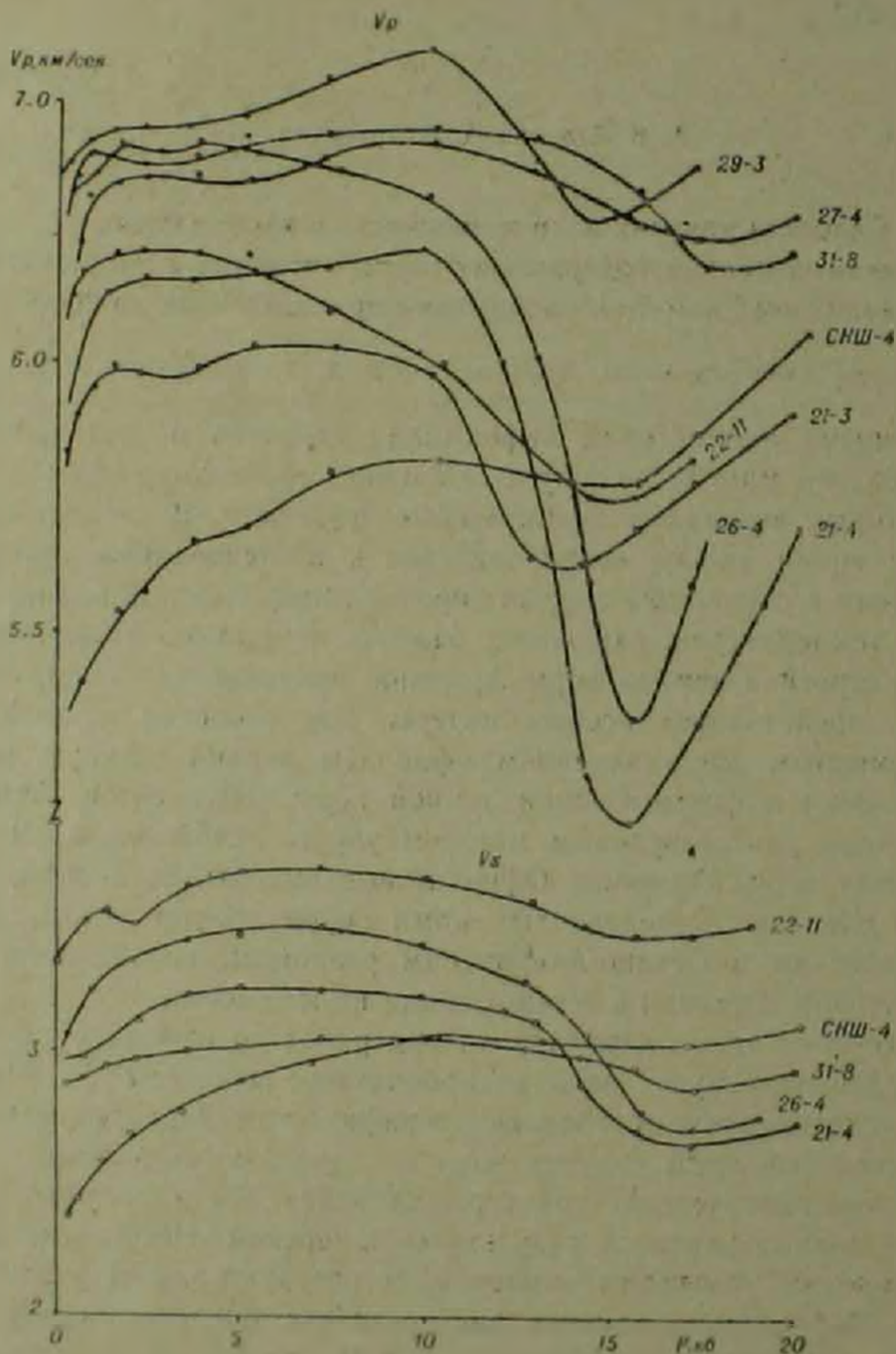


Рис. 1. Влияние давления на скорости продольных и поперечных волн в образцах карбонатных (21—4, 26—4, 21—3) и изверженных кальцитсодержащих пород

Результаты исследований зависимости скоростей продольных и поперечных волн от давления показаны на рис. 1. Все кривые $v_p = f(p)$ имеют минимум в диапазоне 14—16,5 кб. Характер минимума меняется

от острого (обр. 26—4, 21—4) до слабого (обр. 31—8, 29—3 и др.). В начальной области давлений для всех пород наблюдается как обычно значительный рост скорости. Для образцов 27—4, 31—8, 21—3, 26—4 замечены при давлениях 1—4 кб слабевыраженный $\min$ на кривых $v_p = f(p)$. Для большинства пород в диапазоне давлений от 2 до 10 кб скорости плавно и незначительно возрастают. Исключение представляют образцы 26—4, 21—3, и 22—11, для которых уже при давлениях 2—3 кб скорости начинают монотонно убывать. После 10 кб для всех образцов отмечается более резкое, особенно для карбонатных пород, убывание v_p вплоть до минимума. После минимума для всех пород наблюдается рост скорости в пределах достигнутых давлений. Кривые $v_s = f(p)$ также претерпевают минимум при давлениях 15—17 кб. Этот минимум выражен не так резко, как для продольных волн. Все кривые $v_p = f(p)$ и $v_s = f(p)$ практически воспроизводимы при снятии давления. Это указывает на то, что явления приводящие к такому специфическому поведению скоростей с давлением, носят в основном обратимый характер. Для образцов 29—3, 21—3, 26—4 замечено возрастание скоростей при снятии давления. Различия составляют не более 2—3%.

Таблица 1

Краткие структурно-петрографические данные пород при атмосферном давлении

№№ образцов и наименование горных пород	Плотность ρ , г/см ³	Пористость общ. %	Минеральный состав, %	Структура, средний размер зерен кальцита, мм
26—4 Мрам р	2.60	4.4	Кальцит, 100	Гранобластовая, 0.05—0.5, частично 0.2—1.0
21—3 Криптокристаллический известняк	2.64	4.6	Кальцит, 100	Микрогранобластовая, 0.05—0.15
21—4 Мраморизованный известняк	2.67	5.3	Кальцит, 100	Криптокристаллическая, 0.1—0.3
31—8 Мелкозернистый мраморизованный известняк	2.90		Кал—85, Гж—10, Кв—5	Микрогранобластовая, 0.05—0.15
СНШ-4 Миндалекаменный базальт	2.56	7.6	Пл—46, Кал—15, п. с.—35, Хл—4	Глинистая, миндалекаменная, 0.1—0.8
22—11 Щелочно-анальцимовый базальт	2.60	4.1	Т. авг—38, Ан—25, Кал—25, Пл—8, Р—4	Резликтовая, порфировая, 0.1—0.5
27—1 Кварц-карбонатная порода	2.71	1.8	Кв—50, Кал—50	Гранобластовая, 0.1—0.6
29—3 Измененный диабазовый порфирит	2.93	6.7	Пл—32, Кал—25, Эп—15, Амф—10, Пир—10, Кв—5, Хл—3	Порфировая, 0.05—0.1

Амф—амфибол; Ан—анальцим; Гж—гидроксид железа; Кал—кальцит; Кв—кварц; Пир—пироксен; Пл—плагноклаз; Р—рудные; Т. авг—титан-авгит; Эп—эпидот; Хл—хлорит; Вс—вулканическое стекло.

Листвениты представлены близкими по составу и структуре разновидностями кремнисто-карбонатных пород, имеют гранобластовую, пестельчатую структуру. Они состоят из кальцита (частично железистого) и крипто-кристаллического кремнистого агрегата. Образец 1336 отличается большим содержанием кальцита. Объемный вес образцов составляет: 1354—2.81; 1336—2.84 и 710—2.94 г/см³. На рис. 2 показаны кривые зависимости v_p ; v_s от давления для образцов лиственитов.

Листвениты характеризуются довольно высокими значениями скоростей упругих волн достигающих при давлениях 17—18 кб $v_p = 8$ км/сек и v_s свыше 4.5 км/сек. Для образцов 710 и 1354 во всем диапазоне давлений наблюдается значительный рост скоростей, а для образца 1336—незначительное падение. При давлениях 13—14 кб. для образцов 710 и 1336 кривые $v = f(p)$ претерпевают минимум, затем круто возрастают.

v , км/сек

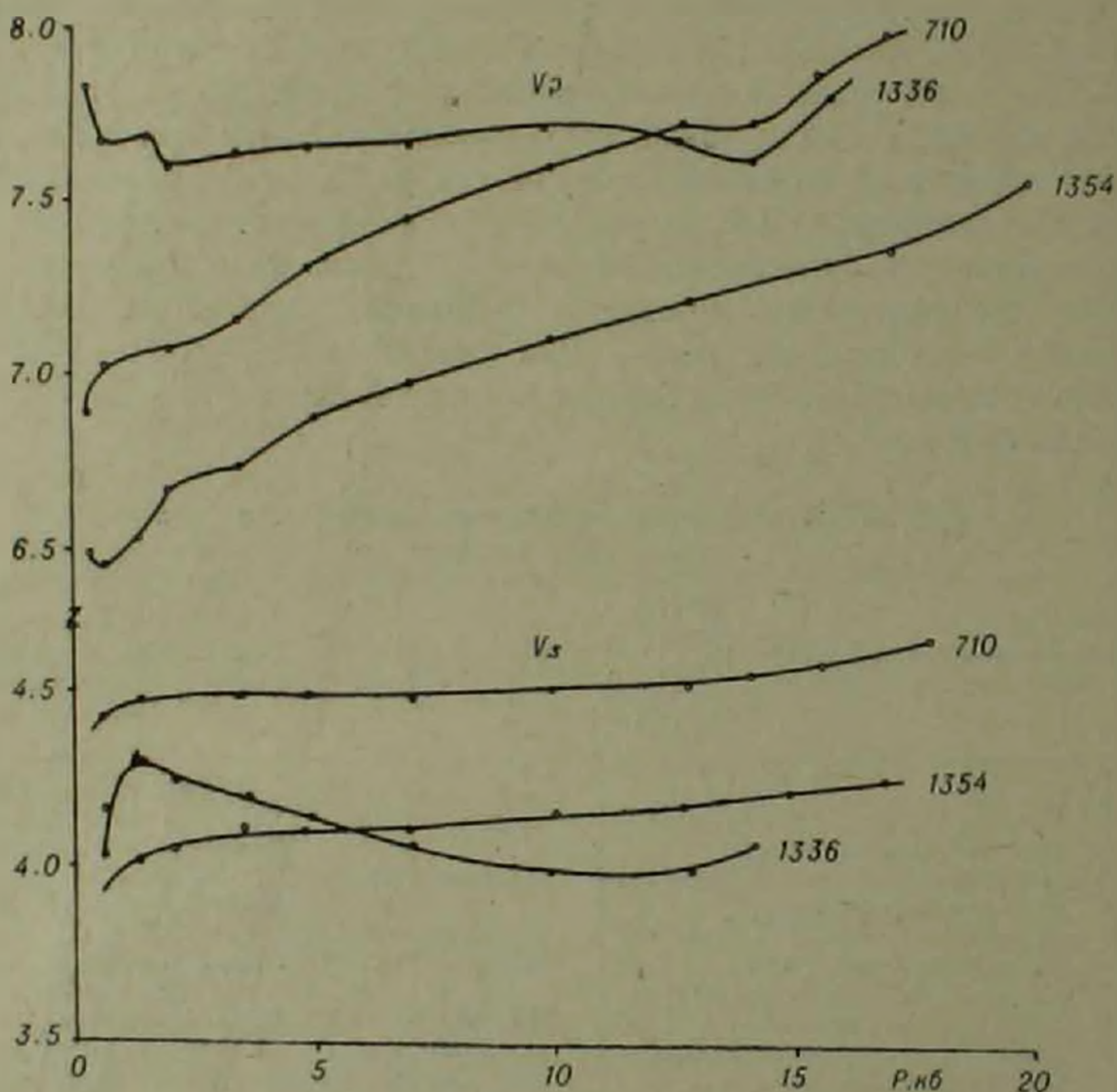


Рис. 2. Влияние давления на скорости продольных и поперечных упругих волн в образцах лиственитов

В естественных условиях горные породы как правило подвергаются воздействию флюидов, особенно в геосинклинальных зонах. Представляло интерес выяснение влияния водонасыщения на упругие свойства пород. Это имеет важное значение особенно для пористых и трещиноватых, а также для карбонатных пород. Водонасыщение проводилось способом вакуумирования многократно до постоянного веса. Оно составляло от общей пористости до 10—12% для изверженных пород, до 20—40% для карбонатных пород.

Водонасыщение оказывало различное влияние на скорости продольных волн и их зависимости от давления. Для большинства водо-

насыщенных образцов скорости существенно возрастали при нормальных условиях, а при возрастании давления скорости отличались незначительно. Для части образцов базальтов и диабазов (22—11 и 29—3 и др.) скорости значительно возросли, а для карбонатных пород уменьшились во всем диапазоне давлений. На рис. 3 показаны кривые $v_p = f(p)$ для сухих и водонасыщенных образцов лиственита 1336, анальцимового базальта 22—11 и мраморизованного известняка 21—4. Из рисунка видно, что в водонасыщенном образце лиственита 1336

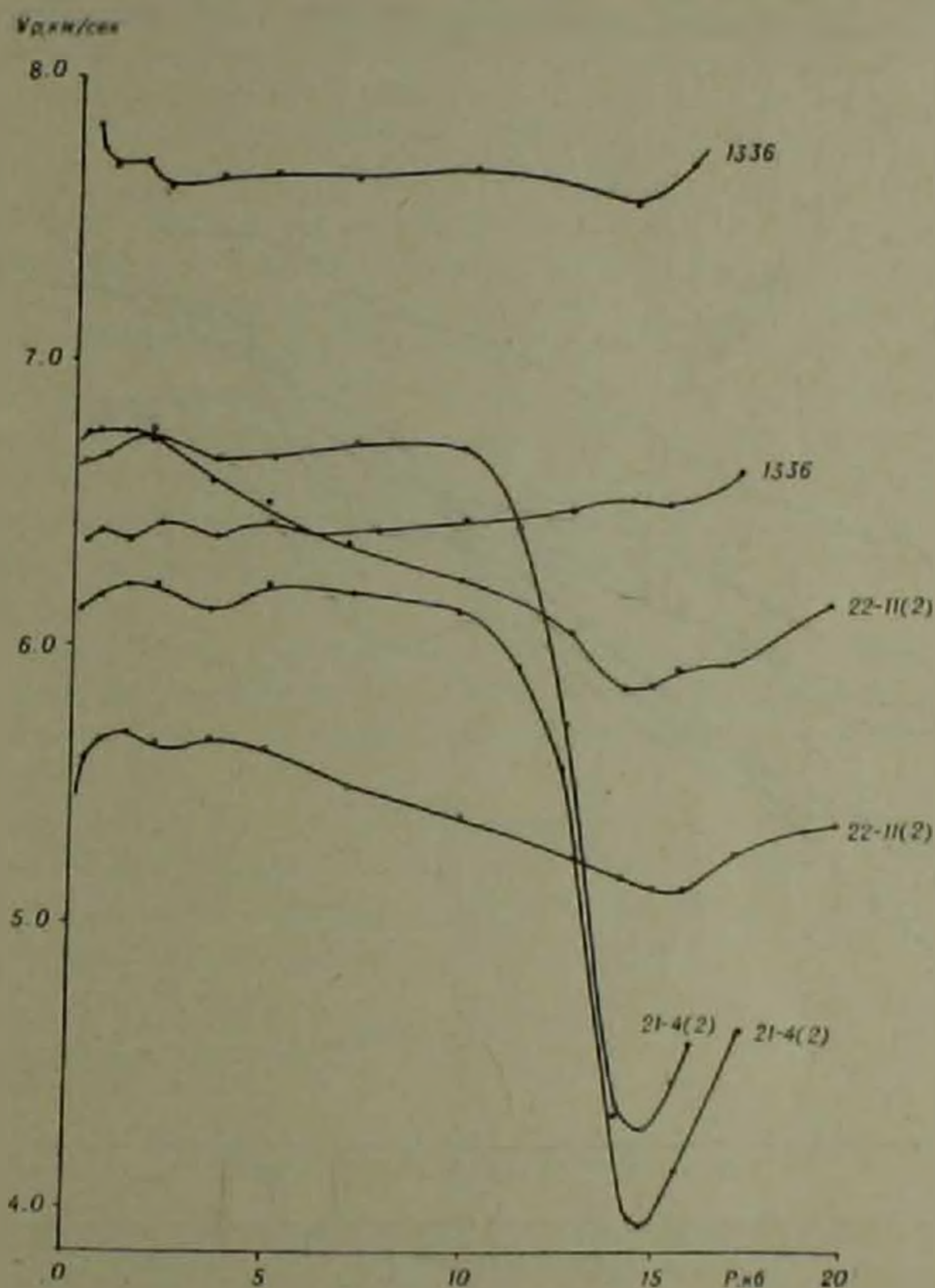


Рис. 3. Влияние давления на скорости продольных волн в водонасыщенных (черные кружки) и сухих образцах лиственита 1336, анальцимового базальта 22—11 и мраморизованного известняка 21—4

скорость, оставаясь примерно постоянной во всем диапазоне давлений, понизилась от значения 7,65 (в сухом образце) до 6,40 км/сек. Для образца базальта 22—11 водонасыщение (% насыщения составлял ~12%), наоборот, вызвало повышение скорости при давлении 1 кб

на 1 км/сек, а при 12 кб до 0,8 км/сек. Для образца водонасыщенного известняка 21—4 скорости упали по сравнению с сухими на 0,5 км/сек. Кривые $v_p = f(p)$ для сухого и водонасыщенного образцов почти точно шли параллельно. Водонасыщение не вызывало существенных изменений величины скачка скорости и значений давлений, при которых наблюдается минимум на кривой $v_p = f(p)$.

На рис. 4 представлены кривые зависимости плотности— ρ от давления для исследованных образцов пород. Разброс значений ρ при атмосферном давлении составлял 0,15 г/см³, а при давлении 15—

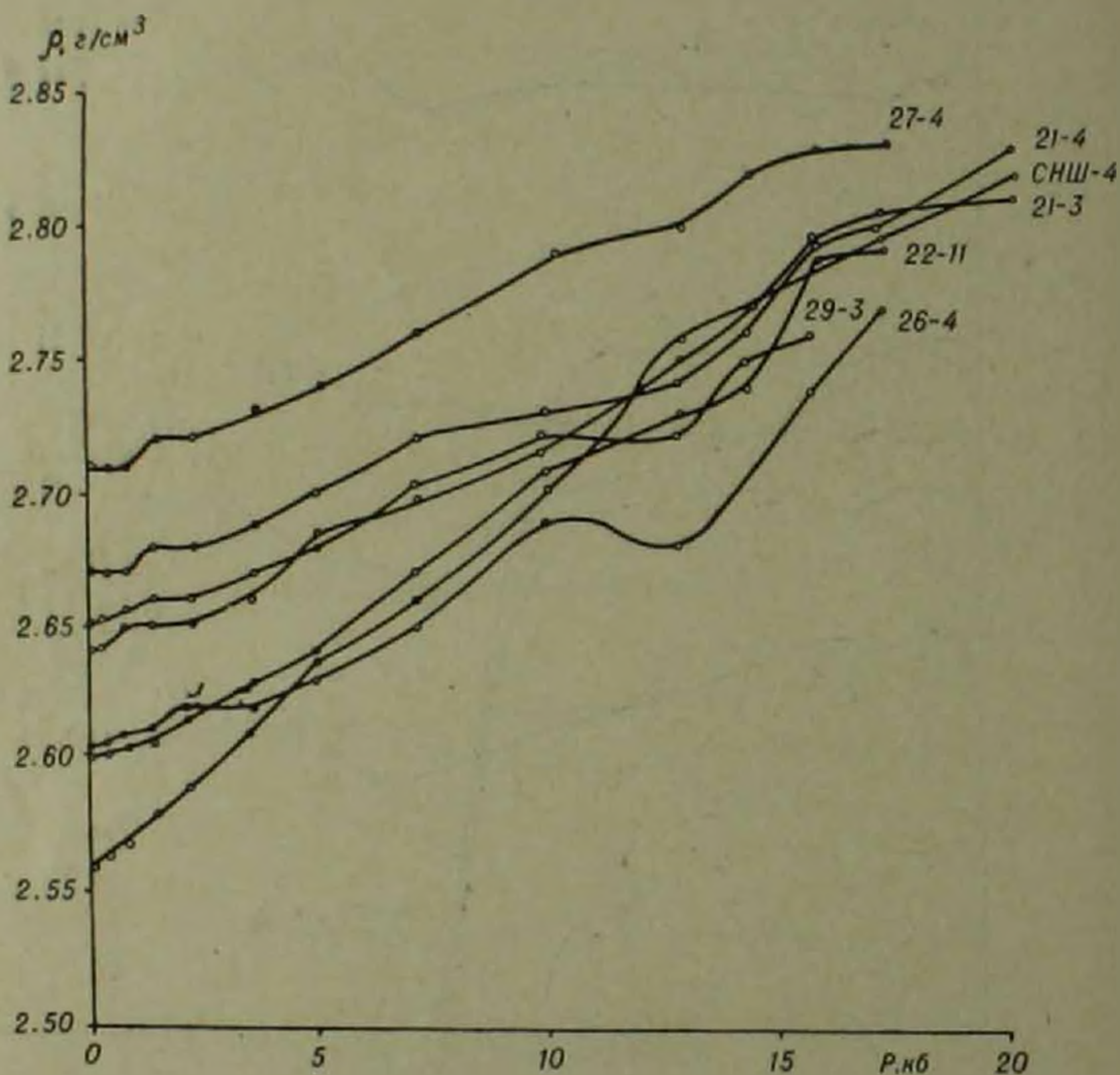


Рис. 4. Влияние давления на плотность образцов карбонатных и карбонат-содержащих пород

18 кб. 0,06 г/см³ т. е. уменьшился в два с лишним раза. Наибольший рост плотности с давлением отмечается на наиболее пористых образцах (базальта СНШ-4 и др.). Для образцов 26—4, 29—3 и 22—11 и др. в интервале давлений 14—16 кб. наблюдается значительное уменьшение эффекта давления, а для образца 26—4 и 29—3 даже разуплотнение. Интересно отметить, что эта область давлений разуплотнения согласуется с областью, в которой наблюдаются минимумы скоростей.

Особенностью изученных пород является специфическое поведение скоростей и плотности при давлениях до 20 кб. В интервале давлений 1—12 кб не наблюдается обычного для горных пород роста скоростей. Исключения составляют образцы лиственигов 710, 1354 и базальта СНШ-4. Рост скорости для образца СНШ-4, по-видимому, можно объяснить значительной трещиноватостью и относительно малым (до 15%) содержанием кальцита. Образцы лиственигов претерпели в естественном залегании значительные пластические деформации, вызвавшие перестройку структуры породы. Это и обусловило наблюдаемые особенности упругих свойств лиственигов при высоких давлениях. В этом диапазоне давлений на величину и характер изменения v_p с давлением оказывают влияние два взаимосвязанных фактора: первый — перестройка структуры кальцита и второй — размер и форма зерен кальцита, на границах которых происходит концентрация напряжений. Влияние зернистости можно показать на примере трех образцов 21—3, 21—4 и 26—4. С увеличением размеров зерен (см. таблицу) растет величина v_p при давлении 5 кб 6,05; 6,30 и 6,65 км/сек и скачок скоростей при давлениях 5 кб и 14—16 кб, 0,8; 1,1 и 1,5 км/сек соответственно. Увеличение степени дисперсности понижает скорость. То, что минимумы на кривых $v_p = f(p)$ для всех пород соответствуют одному и тому же давлению также, как и начало резкого спада v_p (10 кб), указывает на превалирующее влияние процессов перестройки структуры кальцита.

Незначительное падение скоростей упругих волн, а также увеличение плотности в интервале давлений 2—4 кб в ряде образцов (21—3, 27—4, 26—4, 31—8) связано, по-видимому с переходом кальцита в арагонит (²).

Микроскопические исследования показали, что при водонасыщении образцов падение скоростей наблюдалось в основном в тех породах, в которых были обнаружены глинистые продукты, размягчение которых вызывало падение упругих свойств породы.

Институт физики Земли Академии наук СССР.
Ереванский политехнический институт

Ա. Ի. ԼԵՎԻՆԻ, Ա. Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Հայաստանի օֆիոլիտային գոտիներից ներկայացված լիտվեներում,

կաբոնատային և հրաբխածին կալցիտ պարունակող ապարներում
առաձգական ալիքների տարածման արագությունը և խտությունը մինչև 20 կր
ննջման պայմաններում

Նրկրակեղևի և նրկրապատյանի կազմի և կառուցվածքի ուսումնասիրու-
թյունը գեոֆիզիկայի կարևորագույն պրոբլեմներից մեկն է:

Դաշտային պայմաններում ստացված տվյալներն առավել ճշգրիտ մեկ-
նարանելու համար լաբորատոր պայմաններում լիոնային ապարները են-
թարկվում են բարձր ճնշման և ջերմաստիճանի, որի ընթացքում ուսումնա-

սիրվում են նրանց առաձգական հատկությունները և խտության փոփոխությունը:

Հոգվածում տրված են Հայաստանի օֆիոլիտային դոտինների վերցված լիստվենիտներում, կարրոնատային և կալցիտ պարունակող հրաբխածին ապարներում առաձգական ալիքների տարածման արագությունների և խտությունների փոփոխությունը 20 կր ճնշման պայմաններում:

Նշված ապարների նկատմամբ հետաքրքրությունը պայմանավորված է առաձգական ալիքների տարածման յուրահատուկ վարքով, որը պայմանավորվում է կալցիտ միներալի առկայությամբ: Կալցիտի բյուրեղական ցանցում ճնշման մեծացումից կատարվում է վերադասավորում 2—4 և 14—16,5 կր միջակայքերում, որը արտահայտվում է առաձգական ալիքների արագության փոքրացումով, որի ինտենսիվությունը կախված է կալցիտ միներալի տոկոսային պարունակությունից և բյուրեղների մեծությունից: Բյուրեղների մեծացումը հանգեցնում է արագության մեծացման:

Լիստվենիտներում առաձգական ալիքների համեմատական բարձր արագությունը և որոշ միջակայքերում ալիքաձև քնույթը պայմանավորվում է նրանով, որ այդ ապարները բնական պայմաններում ենթարկվել են պլաստիկ դեֆորմացիաների:

Ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ ջրահագեցած հրաբխային ապարներում առաձգական ալիքների արագությունը մեծանում է (որը բացատրվում է ապարի ծակոտիների և ճեղքերի ջրալցումով), իսկ կարրանատային ապարներում ընդհակառակը փոքրանում է (որը բացատրվում է կավային նյութի տարալուծմամբ):

Ճնշման մեծացումից ապարների խտությունը մեծանում է, ընդ որում որքան մեծ է ապարի ծակոտկենությունը, այնքան մեծ է սկզբնական և վերջնական խտությունների տարբերությունը: Որոշ ապարներում նկատվում է խտության թռիչքաձև փոփոխություն առաձգական ալիքների անկման միջակայքում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ F. Birch, J. Geoph. Res. v. 65, 1083—1102 (1960). ² T. I. Arens, and Katz, J. Geoph. Res. v. 68, 529—537 (1963). ³ R. B. Gordon, and R. I. Vaisnys, J. Geoph. Res. v. 69, 4920—4922 (1964). ⁴ G. Simmons, and W. F. Brace, J. Geoph. Res. v. 70, 5649—5656 (1965). ⁵ C. J. Wang, J. Geoph. Res. v. 71, 14 (1966). ⁶ C. J. Wang, J. Geoph. Res. v. 73, 12 (1968). ⁷ S. Kondo, K. Suito, Matsushima, J. Phys. Earth., 20, 245—250 (1972). ⁸ М. П. Вологович, А. И. Левыкин, ДАН СССР, № 6, 165 (1965). ⁹ Ю. С. Генштадт, Л. Д. Лившиц, Ю. И. Рябикун, ПМТФ, № 5, 1962.