ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LXIII 1976 2

УДК 551.1.14

ГЕОЛОГИЯ

Член-корреспондент АН Армянской ССР А. Т. Асланян,
А. И. Левыкин, А. В. Арутюнян

Об одном возможном механизме возникновения землетрясений

(Представлено 11/V 1976)

Вопрос о подготовке землетрясения и изменении состояния вещества в очаговой области ставится у разных исследователей по разному ([1]). По представлению большинства исследователей землетрясения отражают разрыв сплошности среды, либо в виде скола в условиях сдвиговой деформации (без существенного изменения объема материала) либо непосредственно за счет эффекта изменения объема (его уменьшения или увеличения) ([2]).

Экспериментальные работы по исследованию физико-механических свойств горных пород и минералов при высоких термодинамических параметрах показали, что некоторые минералы претерпевают полиморфные и фазовые переходы ([3–8] и др.) которые иногда сопровождаются скачкообразным изменением объема ([4,5]).

Увеличение объема при возрастании нагрузки для некоторых неоднородных материалов и горных пород впервые было обнаружено Бриджменом ([9]). В дальнейшем подобные исследования горных пород проводились Брейсом и Ставрогиным ([10, 11]).

При объяснении предвестников и физики очага землетрясений, в некоторых последних работах ([12,13]) придается решающая роль явлению дилатансии, представляющему процесс увеличения объема сжимаемой породы как следствие появления очень густой сети новых микротрещин, и сопровождающемуся диффузивным проникновением воды в эти трещины.

При всей привлекательности механизма дилатансии остается неясным вопрос проникновения в систему указанных трещин воды в достаточных количествах ([14]) и с достаточной скоростью, особенно в условиях относительно больших глубин, где несвязанная вода может находиться лишь в газообразной фазе.

В настоящей работе сделана попытка объяснить процесс разуплотнения карбонатных пород в условиях давлений до 20 *кб*.

Основные факторы, влияющие на скорости V_p и V_s распространения продольных и поперечных вол в карбонатных породах, были освещены в статье ([4]). По характеру изменения зависимости V_p, V_p/V_s и ρ от давления, кривые этих изменений можно разбить на несколько

участков (рис. 1). На участке *ав*, который характеризуется увеличением скорости и плотности, а также отношения V_p/V_s, происходит закрытие в породе микротрещин и частично микропор. С увеличением давления в интервале 2—4 *кб* (участок *вс*), как отмечалось в работах ([3–5]), происходит полиморфное превращение кальцита в арагонит, вследствие чего на графиках наблюдается незначительное снижение скорости продольных волн—V_p. При дальнейшем увеличении давления (P=5—10 *кб*), на участке *cd* значение V_p и отношение V_p/V_s снижаются, а плотность увеличивается, что, по-видимому, связано с начавшейся перестройкой структуры $CaCO_3$I в $CaCO_3$II. Изменение объема во время возрастания нагрузки, как указывается в работе ([9]), представляет собой сумму двух эффектов. Первый—это уменьшение объема в зависимости от нагрузки (эффект объемной сжимаемости), второй—увеличение объема за счет появления микротрещин.

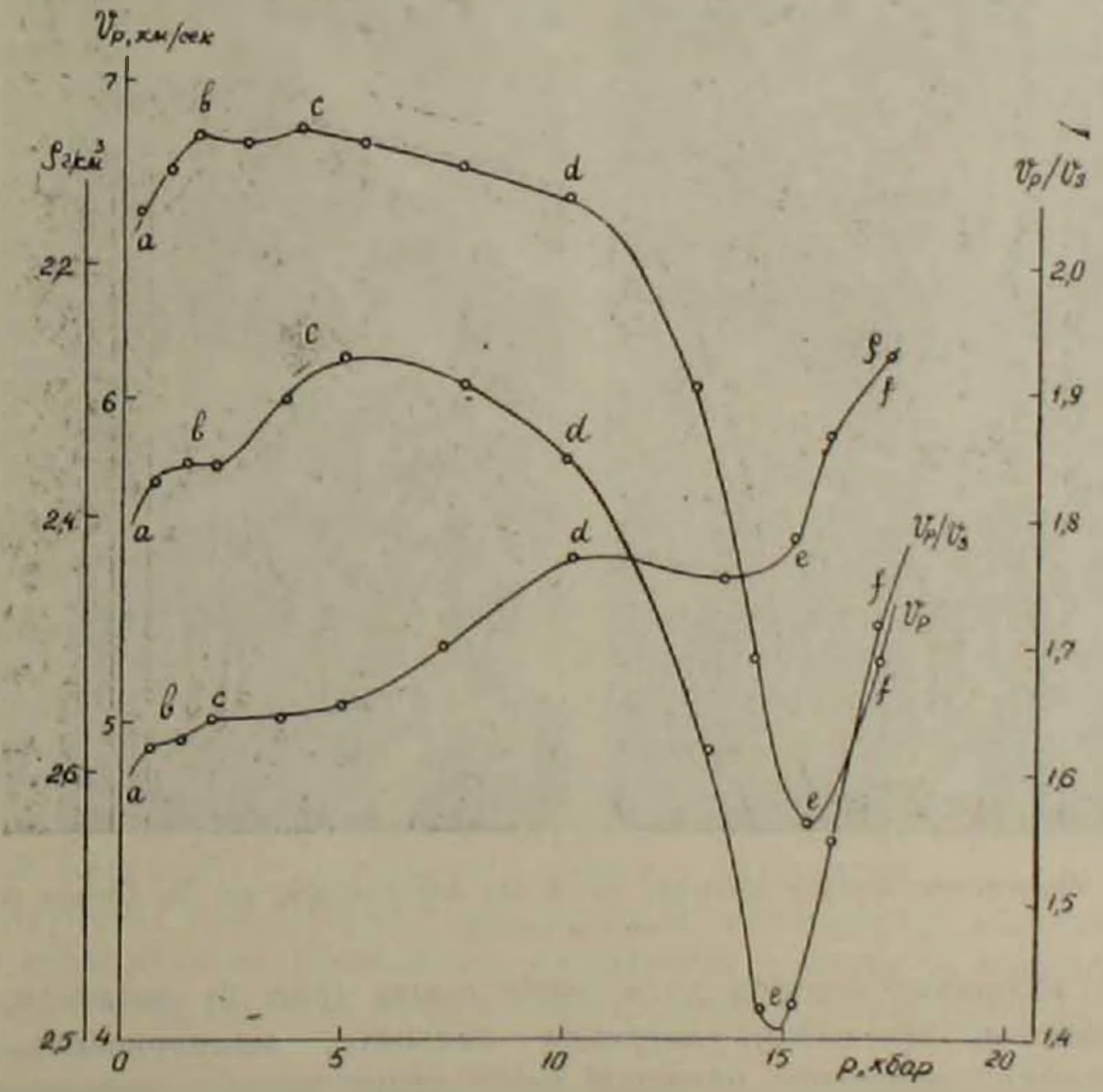

Рис. 1. Зависимость скорости продольных волн, плотности и отношения скоростей от давления в мраморе 26—4

В нашем случае при перестройке кристаллической структуры $CaCO_3$I—$CaCO_3$II в интервале давлений от 5 до 10 *кб* наблюдается уплотнение вещества и в то же время падение значения V_p и отношения V_p/V_s. Такое поведение скорости продольных волн и плотности при воздействии давления можно объяснить разупорядоченностью элементов (анионов) кристаллической решетки кальцита. Процессы пере-

стройки структуры кальцита оказывают качественно такой же эффект на V_p и V_p/V_s, как и в случае трещинообразования. Наряду с процессами перестройки структур кальцита нами были обнаружены некоторые необратимые петроструктурные изменения как в карбонатных породах так и в других кальцитсодержащих породах, испытанных в условиях высоких давлений. В частности, было замечено перетекание рассеянных по всей породе мелких зерен кальцита и концентрация их в виде немногочисленных более крупных включений. Эти процессы интенсивно протекают на участке *de* в диапазоне давления 10—15 *кб*, где наблюдается одновременно резкое падение плотности ввиду перестройки кристаллической структуры кальцита и образования микротрещин. С последним процессом в основном связано некоторое разуплотнение породы и миграция кальцитовых зерен.

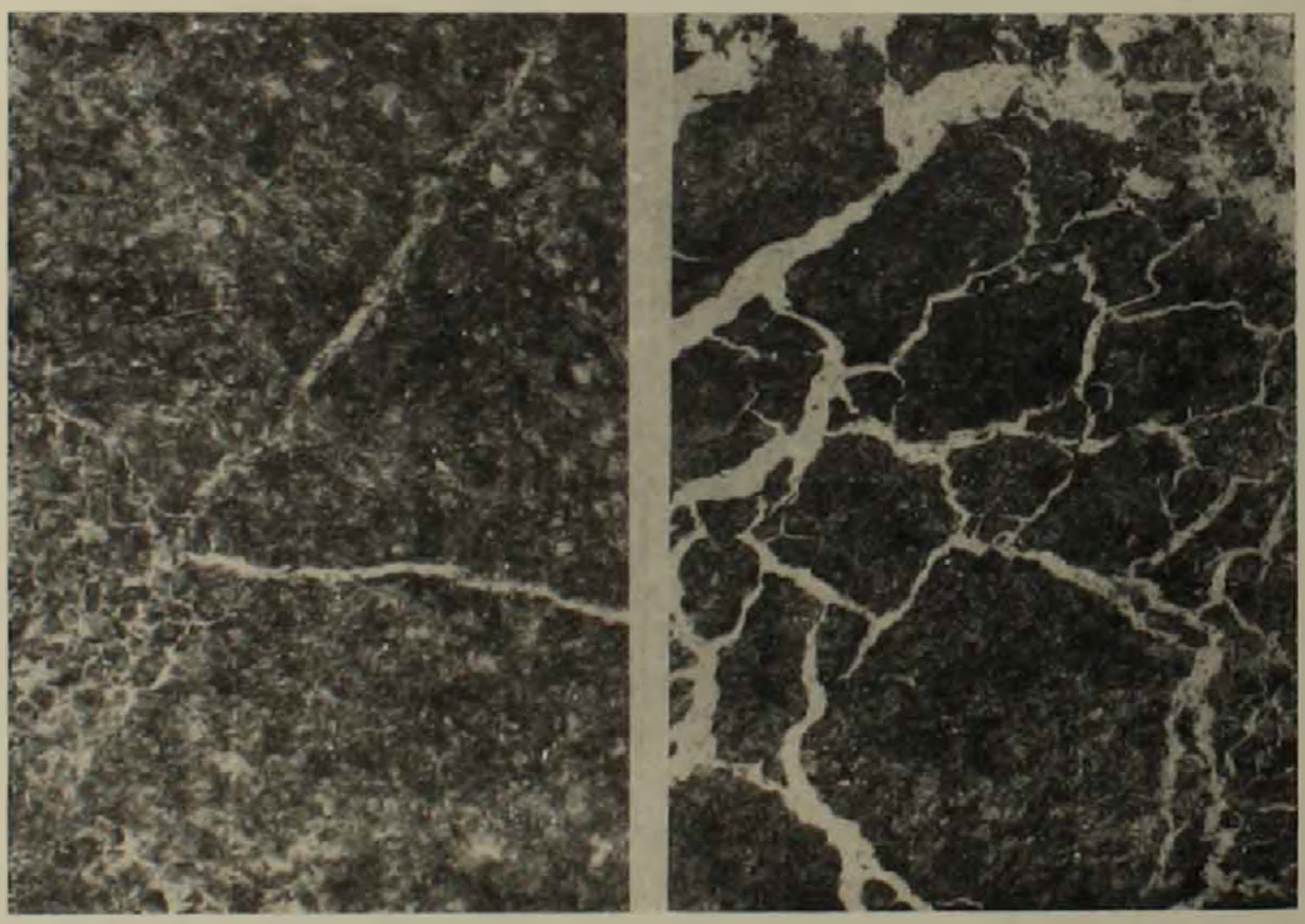

Рис 2. Микрошлиф образца мрамора 26—4 без анализатора, уп. 20, (*а*—до опыта; *б*—после опыта

Исследования шлифов до и после опыта (рис. 2) показали, что действительно происходит миграция кальцита, мраморизация его в трещинах, увеличение размеров ранее существующих прожилков и включений кальцита.

Как отмечалось ранее [3–8], в интервале давлений 14—16 *кб* происходит перестройка структуры $CaCO_3$I в $CaCO_3$II, причем после такой перестройки уменьшается пластичность кальцита и увеличивается отношение V_p/V_s. Перестройка структуры кальцита сопровождается скачкообразным изменением плотности (участок *ef*) и одновременным увеличением скорости продольных волн.

Анализируя особенности прохождения сейсмических волн через очаговую область землетрясений ряд исследователей отмечают, что отношение скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s) заметно изменяется перед возникновением землетрясений ([15–18]), причем это изменение имеет характер «бухты», (рис. 3) свойственный и некоторым другим (например электрическим) предвестникам землетрясений ([15, 16] и др.).

Изменения V_p/V_s были зарегистрированы впервые в Центральной Азии ([17]). Было показано, что незадолго до начала сильного землетрясения отношение V_p/V_s уменьшается, а непосредственно перед моментом землетрясения оно снова резко возрастает. Последующие исследования советских ([18]) и американских сейсмологов ([16]) подтвердили эту закономерность.

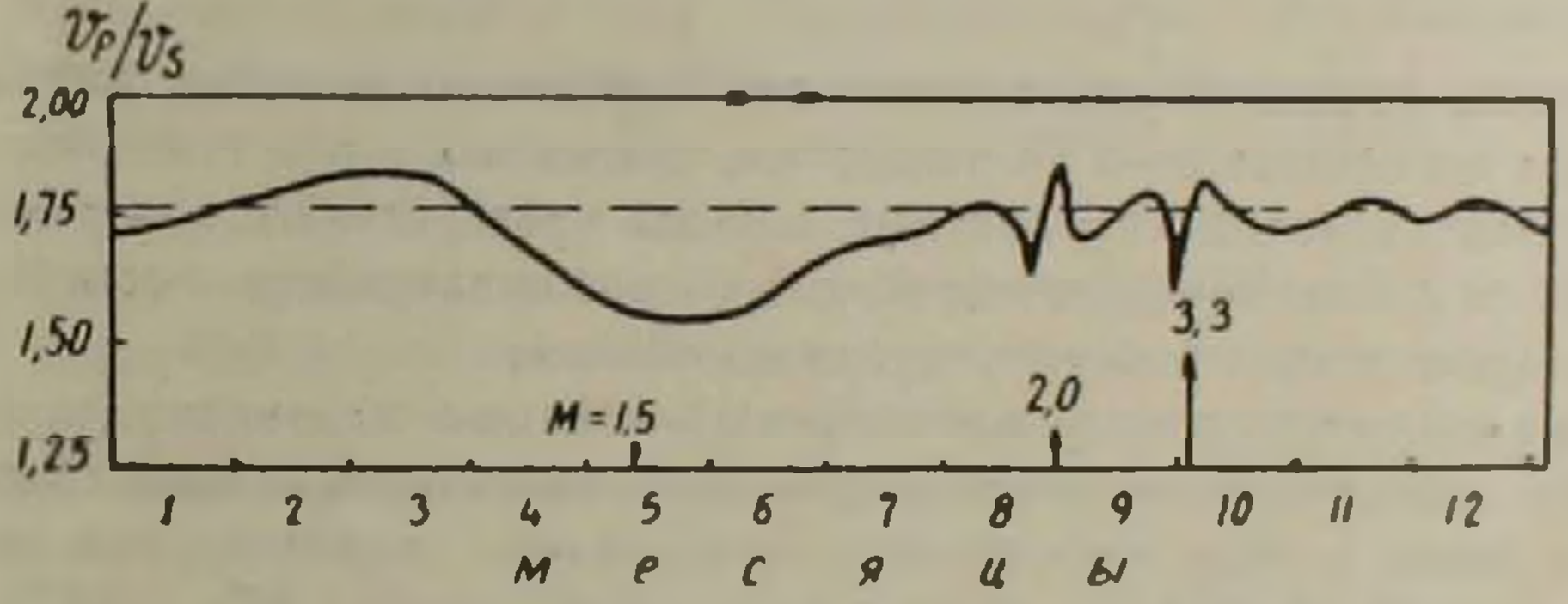

Рис. 3. Отношение скоростей сейсмических волн в зависимости от времени ([16])

Как указывается в работе ([1]), физическая интерпретация изменений V_p/V_s неоднозначна, в связи с невозможностью ведения прямых наблюдений в очаговой области. Одной из наиболее вероятных причин этого изменения является, как уже указывалось, возникновение сети трещин (заполненных кальцитом), которые продолжают раскрываться под воздействием расклинивающего давления.

Описанный нами процесс вызывает некоторые общие эффекты аналогичные эффектам, сопутствующим процессу дилатансии.

Полученные при лабораторных исследованиях эффекты в условиях земной коры должны проявляться несравненно в больших масштабах и в определенных условиях могут служить причиной, инициирующей сейсмические толчки.

Учитывая широкую распространенность карбонатных и вообще известковистых образований в литосфере ([19]) (в виде зерен чешуй, миндалин, прожилков, а также отдельных обособленных линз, пластов, свит, а также в виде значительных примесей в терригенных формациях, лиственитах, радиоляритах и др.) мы предполагаем, что в согласии с описанными выше опытными данными часть землетрясений возбуждаются в результате полиморфных превращений и пластических деформаций карбонатсодержащих пород.

В этой связи следует указать, что при продольном изгибе земной коры горизонтальная сжимающая сила при достижении предела $P_{кр} = H\sigma_{кр} = \sqrt{\frac{1}{3} EH^3(\rho_2 - \rho_1)}$ (H — мощность коры, равная 37 *км*, E — модуль упругости коры, равный 840000 *кг/см*^{2}, ρ_1 — плотность коры, равная 2,76 *г/см*^{3}, ρ_2 — плотность подкоровых текучих масс, равная 3,31 *г/см*^{3}) вызывает неустойчивость коры ([20]).

Поскольку, согласно указанной формуле, горизонтальное сжимающее напряжение теоретически достигает значения 24000 *кг/см*^{2}, то возможность предполагаемых полиморфных переходов, пластичных изменений и сдвиговых деформаций еще до наступления разрывов коры представляется достаточно большой.

По сейсмологическим данным глубина залегания очагов землетрясений на территории Армении в большинстве случаев составляет 12—25 *км*.

Можно предполагать, что на этих глубинах, где литостатическое давление составляет 5—6 *кб* вследствие указанных выше тектонических стрессовых давлений карбонатные породы претерпевают пластические изменения и полиморфные переходы, сопровождающиеся высвобождением энергии в виде работы упругих колебаний.

Касаясь затронутого выше вопроса о действии механизма дилатансии при возникновении относительно глубокофокусных землетрясений следует иметь в виду возможность дегидратации гидроксильных соединений типа $FeMgSiH_4O_6$ (гидрооливин—$FeO \cdot MgO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ в условиях высоких гидростатических давлений и наложенного на него стресса). Возможность дегидратации экспериментально доказана для некоторых слюд, амфиболов, цеолитов, гидроксильных соединений магния и др. в условиях гидростатических давлений и температур, соответствующих астеносфере и внешним слоям мантии, а возможность образования гидрооливина обоснована для глубин 200—250 *км*, где реализуются схемы захвата воды оливином, приводящие к образованию гидроксильных соединений ([21]). Общепринятой является схема гидратации оливина посредством серпентинизации в условиях верхних горизонтов коры.

Общей причиной землетрясений в глобальном масштабе мы считаем срывы в коре и мантии, происходящие вследствие изменения объема, формы и положения Земли. Рассмотренный выше процесс возбуждения землетрясений, связанный с фазовыми переходами карбонатных образований, развивается в целом в процессе подготовки указанных срывов.

Ереванский политехнический институт

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ թղթակից-անդամ Ա. Տ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ,
Ա. Ի. ԼԵՎԻԿԻՆ, Ա. Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Երկրաշարժների առաջացման մի հնարավոր մեխանիզմի մասին

Հետազոտողների մեծ մասի կարծիքով երկրաշարժը հետևանք է միջավայրի սահքի դեֆորմացիայի կամ ծավալի փոփոխության, Բարձր ճնշման պայմաններում կալցիտ պարունակող ապարների առաձգականության և խտության ուսումնասիրությունը պարզել է, որ կալցիտի պոլիմորֆ ձևափոխությունը որոշակի պայմաններում ուղեկցվում է խտության Թռիչքաձև փոփոխությամբ։ Հատկապես 14—16 կբ ճնշման պայմաններում տեղի է ունենում կալցիտի բյուրեղների համաճում և կուտակում ձեղքավորումների մեջ, որի հետևանքով լայնանում և մեծանում է ձեղքերի չափերը և թիվը։ Իր հերթին սա հանգեցնում է առաձգական ալիքների արագության, ինչպես նաև նրանց հարաբերության փոքրացմանը։ Ինչպես ցույց են տալիս սեյսմոլոգիական ուսումնասիրությունները, այս պրոցեսը նախորդում է երկրաշարժերի առաջացմանը։

Նկարագրված պրոցեսն ունի որոշ ընդհանրություն դիլատանսիայի պրոցեսի հետ, որն ըստ ժամանակակից պատկերացումների համարվում է երկրաշարժն ուղեկցող պրոցես։ Այդ պրոցեսում միաժամանակ մեծ է անբացատրելի մեծ քանակությամբ մոլեկուլյար ջրի առկայությունը և նրա ակնթարթային նիրհոսքը ճեղքավորումների մեջ մեծ խորություններում։ Ըստ մեր ստացած տվյալների նշված պրոցեսում ջրի գերը հավանաբար կատարում է կալցիտ միներալը, որը պոլիմորֆ ձևափոխություններ կրելուց փոխում է իր խտություն, առաձգականություն և պլաստիկություն։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] Физика очага землетрясения, Под редакцией М. А. Садовского, Изд. «Наука», 1975. [2] *Ю. В. Ризниченко*, «Известия АН СССР», физика Земли, № 2, 1966. [3] *Е. И. Бюк, М. П. Воларович, Г. А. Ефимова*, «Известия АН СССР», Физика Земли, № 3, 1974. [4] *А. И. Левыкин, А. В. Арутюнян*, ДАН Арм. ССР, т. 59, № 2 (1974). [5] *А. В. Арутюнян*, Автореферат кандидатской диссертации, М., 1975. [6] *Т. С. Лебедев*, Геофиз. сб. АН УССР, № 62, 1974. [7] *T. J. Arens, S. Katz* Geoph. Res., 68, 1963. [8] *C. I. Wang*. Geoph. Res. v. 71, 14, 1966. [9] *П. Бриджмен*, Исследования больших пластических деформаций и разрыва ИЛ. М., 1955. [10] *W. F. Brace*, Brettle fracture of rocks—State of stress in the Earth crust, № 4, 1964. [11] *А. Н. Ставрогин*, Сб. „Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ", ВНИМИ, Л., 1968. [12] *H. Scholz, R. Sykes, J. P. Aggarwal*, Scince, 20, № 6, 1973. [13] *D. L. Anderson, J. H. Whitcomb*, Time Depended Seismology Contrib. Div. Geol. and Planet Scien., Calif. Inst. Technol. Pas. № 2363, 1973. [14] *В. И. Мячкин, Б. В. Костров, Г. А. Соболев, О. Г. Шамина*, Сб. „Физика очага землетрясений". Изд., „Наука", М., 1875. [15] Сб. „Предвестники землетрясений", ВИНИТИ, М., 1973. [16] *J. P. Aggarwal, L. R. Sykes et al.*, Nature, 241, № 5383, 1973. [17] *А. М. Кондратенко, И. Л. Нерсесов*, Тр. ИФЗ АН СССР, № 25 (192), 1968. [18] *А. Н. Семенов*, „Известия АН СССР", Физика Земли, № 4, 1969. [19] *А. Т. Асланян, М. П. Воларович, А. И. Левыкин, А. В. Арутюнян*, ДАН Арм. ССР, т. 61, № 3 (1975). [20] *А. Т. Асланян*, Доклады советских геологов на XXI МГК, Изд. АН СССР, М., 1960. [21] *В. А. Магницкий*, Вестник АН СССР, № 12, 1969.