

ЛИТЕРАТУРА

1. Аслабян А. Т. Основные черты геологического строения Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, №3, 1981.
2. Краснопевцева Г. В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. Наука, М., 1984.
3. Мириджанян, Р. Т., Григорян Ф. Г. Изменение высотного градиента поверхностной температуры на территории Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1, 1972.
4. Мириджанян Р. Т. Прогнозная оценка температуры глубинных слоев земной коры на территории Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 5, 1979.
5. Сироткина Т. М., Никольский Ю. И. Способ последовательных геологических приближений при истолковании геофизических полей рудных районов (на примере Армении) В сб.: Методы разведочной геофизики, вып. 12, Недра, Л., 1971.
6. Смыслов А. А., Моисеенко У. И., Чадович Т. З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Недра, Л., 1979.
7. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Недра, М., 1984.
8. Фролов Н. М. Температурный режим гелиотермозоны. Недра, М. 1966.

Известия АН Арм. ССР. Науки о Земле, XXXVIII, №3, 47—54, 1985.

УДК 550.85

Г. М. АВЧЯН, Р. А. АРУТЮНЯН, А. В. МАНУКЯН, Г. В. МАРКОСЯН,
Л. К. ТАТЕВОСЯН

ВЛИЯНИЕ ПОРОВОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН

При исследовании упругих свойств сухих и водонасыщенных образцов фельзитов и туфов Армении обнаружено, что водонасыщение приводит к уменьшению скорости распространения не только поперечных, но и продольных волн. В статье рассмотрен механизм этого процесса и показано, что подобный эффект возможен в породах с гранулярной пористостью при отсутствии трещиноватости или ее незначительности.

Определение типа порозаполнителя горных пород геофизическими методами необходимо при решении таких важнейших геологических задач, как выделение водонефтегазонасыщенных коллекторов (вода, нефть, газ), определение глубины залегания уровня грунтовых вод, исследование процессов в зоне очага землетрясения и т. д.

В качестве критерия типа порозаполнителя широко используются упругие параметры среды, в частности, величина скорости продольных V_p поперечных V_s волн и их соотношение V_p/V_s . Использование этих параметров для решения вышеуказанных задач основывается на следующих предпосылках.

Количественно влияние водонасыщения на скорость V_p определяется объемом и структурой порового пространства, т. е. коэффициентом пористости и сжимаемостью пор [3, 5, 6, 10, 13, 15] и коэффициентом Пуассона:

$$V_p^2 = 3 \frac{1-\mu}{1+\mu} \cdot \frac{1}{\beta_{ск}\sigma}; \quad (1)$$

$$\beta_{ск} = \beta_t + K_n \beta_n^*; \quad (2)$$

$$\sigma = \delta_t + (1 - K_n) \cdot K_n \delta_{ж}; \quad (3)$$

$$\beta_n^* = \frac{\beta_n \cdot \beta_{ж}}{\beta_n + \beta_{ж}}, \quad (4)$$

где μ — коэффициент Пуассона; $\beta_{ск}$, $\beta_{т}$, $\beta_{п}$ и $\beta_{ж}$ — соответственно сжимаемости скелета, твердой фазы, газонасыщенных пор и жидкости; $\delta_{т}$, δ — плотность твердой фазы и породы; $\delta_{ж}$ — плотность насыщающей жидкости; $\beta_{п}^*$ — сжимаемость пор, заполненных жидкостью.

Согласно (1) — (4) при замещении в порах породы газа жидкостью сжимаемость скелета уменьшается, а плотность и коэффициент Пуассона увеличиваются. На рис. 1 приведены результаты расчетов относительного изменения V_p при уменьшении или увеличении этих параметров. Диапазон изменения μ , σ и $\beta_{п}$ при насыщении выбран для различных осадочных пород по данным [1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 15]. Как видно, увеличение μ и σ приводит к уменьшению V_p . Поскольку при водонасыщении μ и σ увеличиваются, а $\beta_{п}$ уменьшается, т. е. влияние изменения $\beta_{п}$ на значение V_p противоположно по знаку относительно влияния μ и σ , то вследствие большего относительного изменения $\beta_{п}$, ее влияние

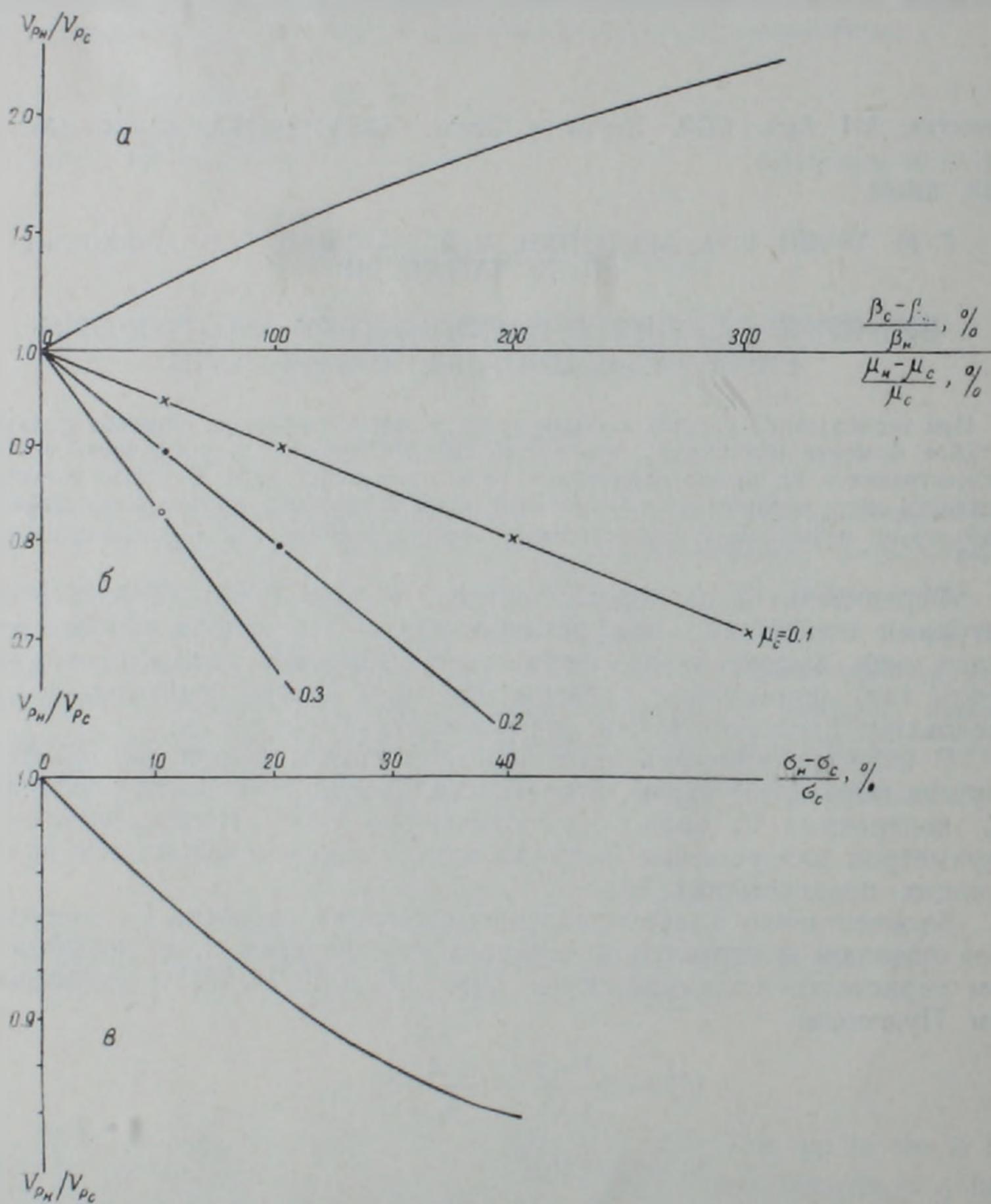


Рис. 1. Изменение скорости V_p в зависимости от относительного увеличения сжимаемости скелета(а), коэффициента Пуассона(б) и плотности(в) при насыщении пород жидкостью.

превалирует относительно влияния σ и μ на V_p . В связи с этим насыщение приводит к увеличению V_p относительно газонасыщенного состояния.

Экспериментальные исследования влияния жидкости на скорость V_p и V_s для осадочных и магматических пород показали справедливость вышерассмотренных положений. Во всех случаях насыщения пород жидкостью, не вызывающей потери связанности скелета породы, скорость V_p увеличивается от 5—10 до 100—200%. Понижение V_p наблюдалось только для глин и глинистых пород, которые, набухая в водной среде, теряют связанность скелета [2, 9, 12, 13, 15].

Скорость поперечных волн при водонасыщении горных пород в большинстве случаев незначительно уменьшается, о чем свидетельствуют результаты многих экспериментов [4, 5, 14]. Эти данные соответствуют теоретическим расчетам [6, 7, 8, 11, 12]: в частности, в диапазоне 10^2 — 10^8 гц, скорость поперечных волн в песчанике, насыщенном метаном, на 3—3,5% выше, чем в водонасыщенном, а скорость продольных волн соответственно на 20—30% ниже.

При изучении влияния водонасыщения на упругие свойства туфов и фельзитов Армении был обнаружен эффект, противоположный вышеописанному: водонасыщение приводит к понижению не только скорости поперечных волн, но и скорости продольных волн.

Расчеты $\beta_{п}^*$ по уравнению (4) с учетом $\beta_{п}$ сухих пород были сопоставлены с экспериментальными данными (рис. 2). Как видно из рисунка, расчетные значения $\beta_{п,рас}^*$ не согласуются с экспериментальными результатами.

С целью выяснения причины аномального уменьшения V_p при насыщении фельзитов воспользуемся уравнением сжимаемости пор для пород с гранулярной (межзерновой) и трещинной пористостью.

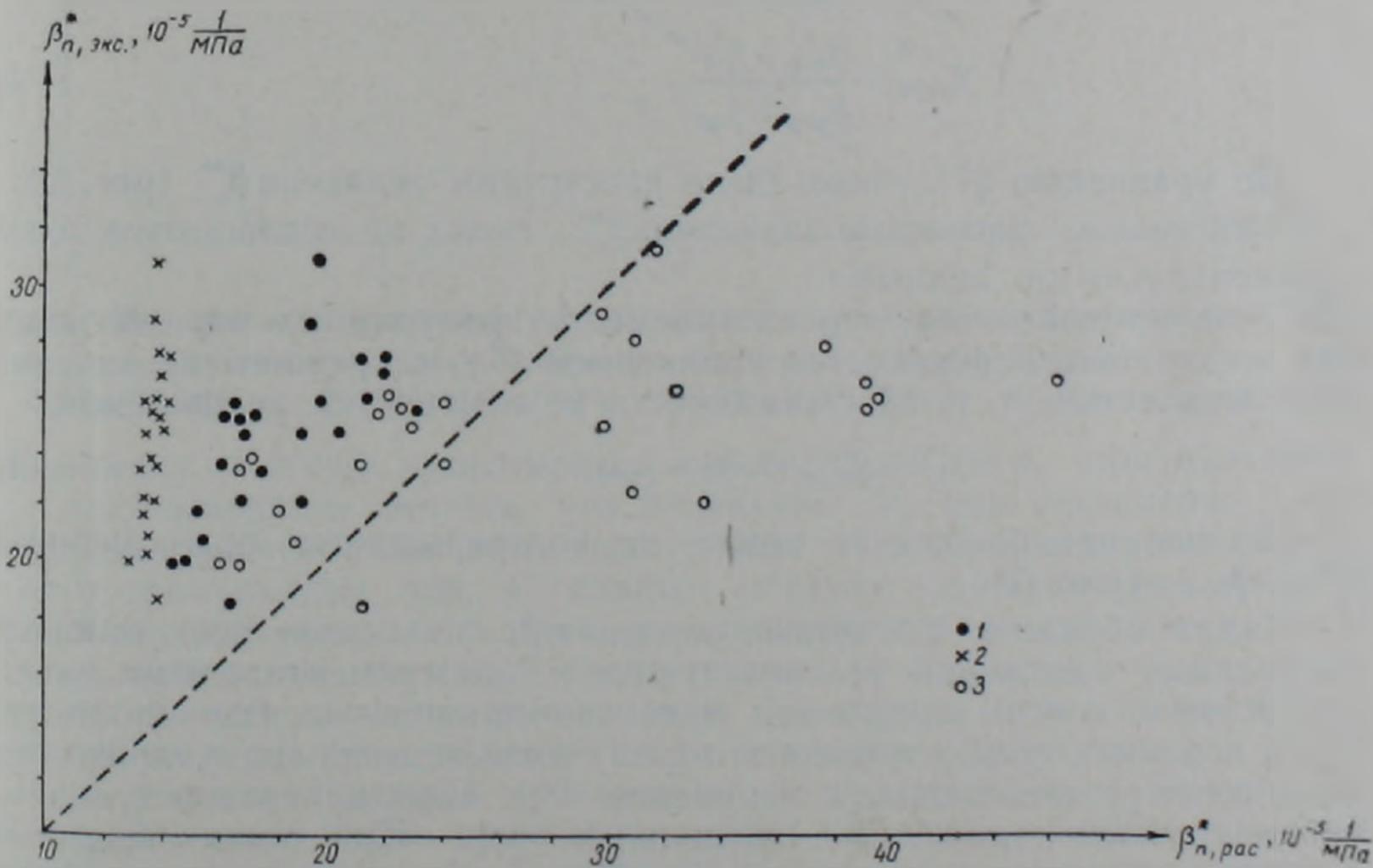


Рис. 2. Сопоставление расчетных значений $\beta_{п,рас}^*$ с экспериментальными $\beta_{п,экс.}^*$.
1—по уравнению (4); 2—по уравнению (7); 3—по уравнению (10).

$$\beta_n = \frac{K_{гр}}{K_n} \beta_{пгр} + \frac{K_{тр}}{K_n} \beta_{птр} = \beta_{пгр} + \frac{K_{тр}}{K_n} (\beta_{птр} + \beta_{пгр}), \quad (5)$$

где $\beta_{пгр}$ и $\beta_{птр}$ — соответственно сжимаемости гранулярных и трещинных пор, $K_{пгр}$ и $K_{птр}$ — коэффициенты пористости гранулярных и трещинных пор.

Значения $\beta_{птр}$ в зависимости от раскрытости трещин изменяется в пределах $10^{-2} - 10^{-3} \frac{1}{\text{МПа}}$ [6]. Поскольку $\beta_{пгр} \ll \beta_{птр}$, то согласно [5] минимальное значение β_n будет у чисто гранулярных пород, т. е. когда $K_{тр} = 0$. Если минимальное значение β_n для всей коллекции принять $\beta_{n\min} = \beta_{пгр}$, то при заданных значениях K_n , β_n и $\beta_{птр}$, легко считать $\frac{K_{тр}}{K_n}$:

$$\frac{K_{тр}}{K_n} = \frac{\beta_n - \beta_{птр}}{\beta_{птр} - \beta_{пгр}}. \quad (6)$$

Значения сжимаемости пор насыщенной породы в условиях, когда и гранулярные поры, и трещины заполнены полностью жидкостью, можно рассчитать уравнением

$$\beta_n^{**} = \beta_{пгр} + \frac{\beta_n - \beta_{пгр}}{\beta_{птр} - \beta_{пгр}} (\beta_{птри} - \beta_{пгри}). \quad (7)$$

Здесь

$$\beta_{пгри} = \frac{\beta_{пгр} \cdot \beta_{ж}}{\beta_{пгр} + \beta_{ж}} \quad (8)$$

$$\beta_{птри} = \frac{\beta_{птр} \cdot \beta_{ж}}{\beta_{птр} + \beta_{ж}} \quad (9)$$

По уравнению (7) также были рассчитаны значения β_n^{**} (рис. 2).

Как видим, расчетные значения β_n^{**} снова не согласуются с экспериментальными данными.

Если предположим, что сжимаемость гранулярных пор, насыщенных жидкостью, определяется уравнением (7), а трещины не заполняются жидкостью, т. е. их сжимаемость не изменяется, то получим:

$$\beta_n^{**} = \beta_{птри} + \beta_n - \beta_{пгр}. \quad (10)$$

Данное предположение также не подтверждается при сравнении β_n^{**} и $\beta_{пэкс}$ (рис. 2).

Таким образом, расчетные значения β_n на основе всех вышерассмотренных положений не согласуются с экспериментальными данными. В связи с этим предложен механизм влияния насыщения на скорость пористых сред, согласно которому сжимаемость гранулярных пор не зависит от насыщения, а изменение V_p породы связано с полным или частичным заполнением трещинных пор. При таких предположениях на основании уравнений (5), (6), (7) был рассчитан коэффициент трещинной пористости породы, заполненной жидкостью.

$$K_{трн} = K_n \frac{\beta_{пэкс}^* - \beta_n}{\beta_{птри} - \beta_{птрс}}$$

где $\beta_{\text{трн}}$ и $\beta_{\text{трс}}$ соответственно сжимаемости насыщенных и сухих трещин.

Результаты расчетов коррелировались со значением удельного электрического сопротивления $\rho_{\text{п}}$ пород, как независимого параметра от используемых в расчетах данных. Результаты сопоставления (рис. 3)

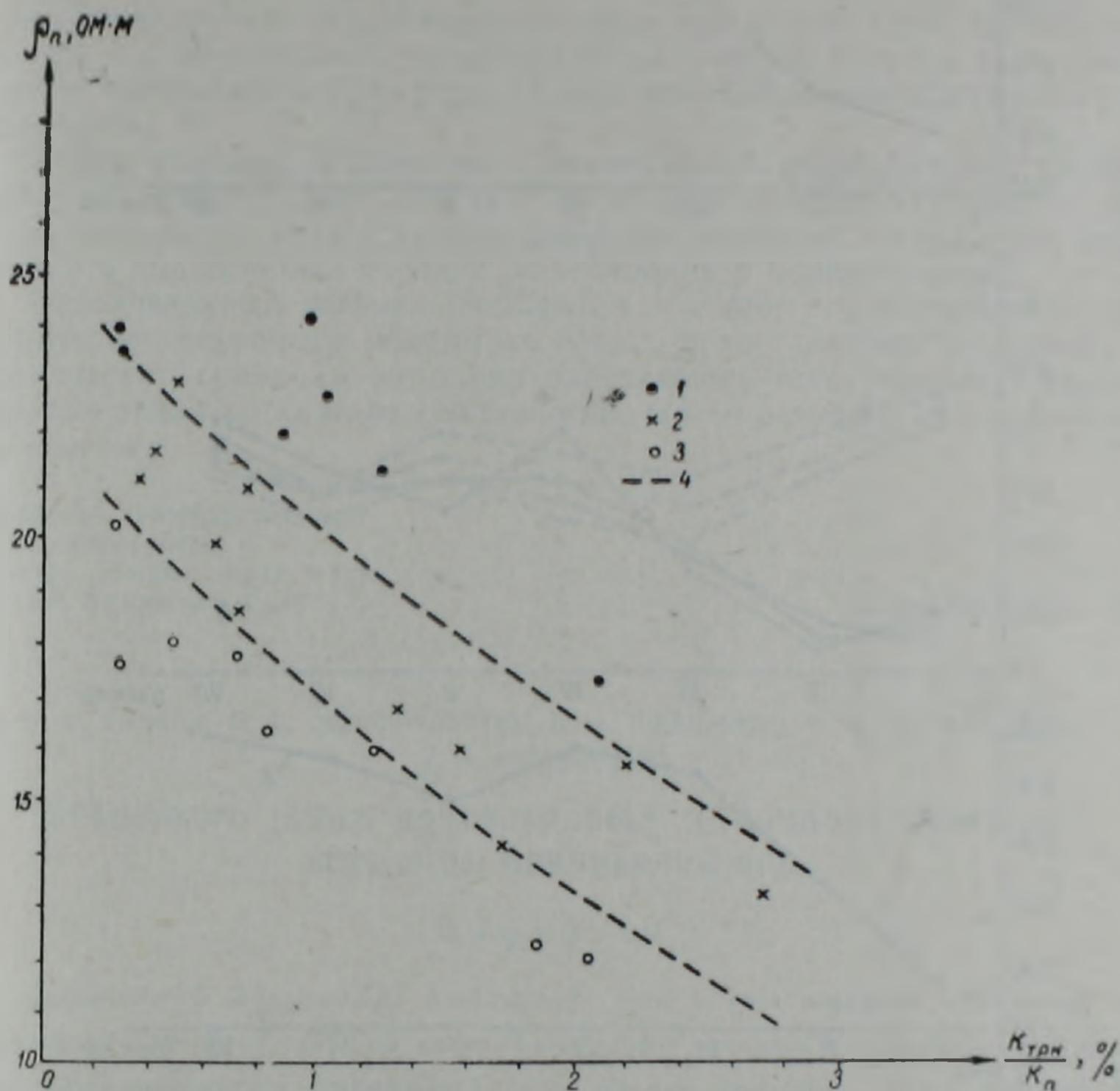


Рис. 3. Зависимость удельного электрического сопротивления фельзитовых туфов от относительного значения насыщенных трещин $K_{\text{тр.н}}/K_{\text{п}}$.

1— $22\% < K_{\text{п}} < 26\%$; 2— $26\% < K_{\text{п}} < 28\%$; 3— $28\% < K_{\text{п}} < 30\%$; 4—условные пределы.

показывают четкую зависимость между $K_{\text{трн}}/K_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{п}}$ при $K_{\text{п}} = \text{const}$. Это дает основание считать, что изменение $V_{\text{р}}$ при насыщении обусловлено предложенным нами механизмом, т. е. не изменением сжимаемости гранулярных пор, а главным образом сжимаемости трещин. Поскольку для фельзитов трещины заполняются жидкостью не полностью, вследствие их малой раскрытости или отсутствия между ними гидравлической связи, то уменьшение $V_{\text{р}}$ породы с насыщением незначительно и основное влияние на $V_{\text{р}}$ оказывает увеличение μ и σ .

С целью дальнейшей проверки этого предположения, на пяти образцах фельзита были проведены опыты по исследованию влияния микротрещин на характер изменения $V_{\text{р}}$ при водонасыщении породы. Микротрещины были созданы путем многократного насыщения образцов дистиллированной водой и последующего их нагрева до 105°C . На рис. 4 приведен характер изменения скорости Р-волн в сухих $V_{\text{рс}}$ и насыщенных $V_{\text{рн}}$ образцах фельзита при многократном насыщении и

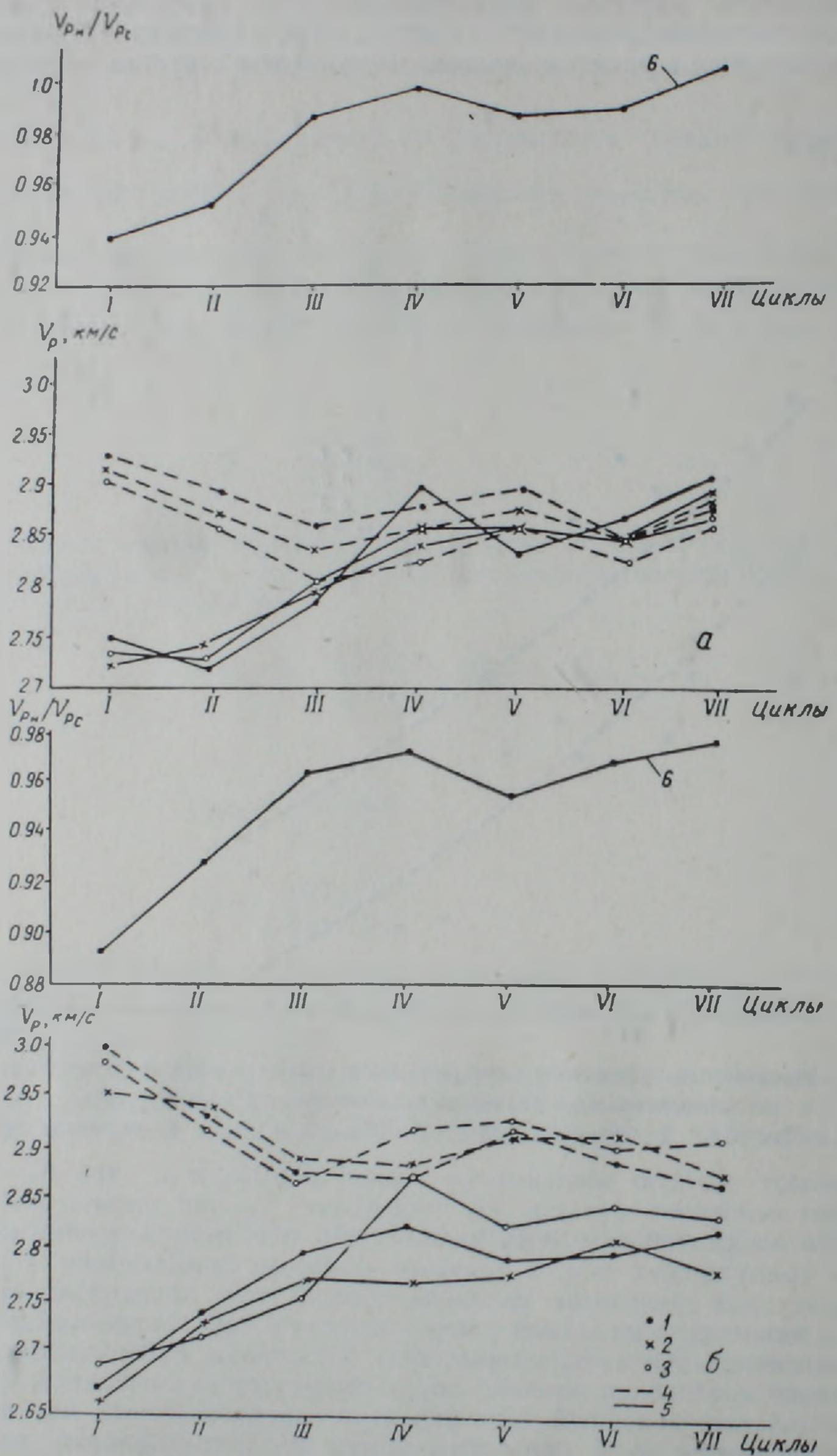


Рис. 4. Изменение скорости для двух фельзитовых туфов (а, б) при их многократном насыщении и сушке.

1—ось x ; 2—ось y ; 3—ось z ; 4—сухие; 5—насыщенные; 6—отношение $V_{pн}/V_{pc}$.

нагреве. Как видим, в процессе трещинообразования наблюдается последовательное уменьшение скорости Р-волн в сухих фельзитах, а для водонасыщенных образцов наоборот—повышение скорости Р-волн от цикла к циклу. Оба эти явления можно объяснить одним и тем же процессом: появлением и увеличением микротрещиноватости образцов от цикла к циклу. На рис. 4 приведен также график изменения отношения $V_{рн}/V_{рс}$. Многократный нагрев, приводящий к увеличению микротрещиноватости, обуславливает увеличение отношения $V_{рн}/V_{рс}$ от цикла к циклу, что свидетельствует еще раз о том, что превышение $V_{рн}$ над $V_{рс}$ обусловлено трещиноватостью горных пород и их насыщением, а сжимаемость гранулярных пор при насыщении практически не изменяется.

Таким образом, в породах с гранулярной пористостью, с низкой трещинной пористостью или при частичном насыщении трещин, скорость продольных волн в газонасыщенных разностях может быть больше, чем в аналогичных породах, содержащих в порах жидкость.

Установленный эффект понижения V_p при водонасыщении предопределяет пересмотр некоторых наших представлений о возможных сейсмических границах, методике определения типа порового флюида и других задач по данным сейсмологии, сейсморазведки и акустического каротажа.

Ереванский государственный университет,
Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 21.II.1984.

Հ. Մ. ԱՎՉՅԱՆ, Ռ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա. Վ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Գ. Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ,
Լ. Կ. ԹԱԵՎՈՍՅԱՆ

ԾԱԿՈՏԻՆԵՐԻ ԼՅՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱՌԱՋԳԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ
ՏԱՐԱԾՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա մ ֆ ո փ ու մ

Հայաստանի ֆելզիտների և տուֆերի շոր և ջրահագեցած նմուշների առաձգական հատկություններն ուսումնասիրելիս բացահայտված է, որ նմուշների ջրահագեցումը հանգեցնում է ոչ միայն լայնակի, այլև երկայնակի ալիքների տարածման արագության նվազմանը: Հողվածում դիտարկված է այդ պրոցեսի մեխանիզմը և ցույց է տրված, որ այդ երևույթը հնարավոր է իզոմետրիկ ծակոտիներ ունեցող ապարներում, որոնք զուրկ են ճեղքավորությունից կամ էլ վերջինս չնչին զարգացում ունի:

H. M. AVCHIAN, R. A. HAROUTIUNIAN, A. V. MANUKIAN, G. V. MARCOSIAN,
L. K. TATEVOSIAN

THE PORE FILLER INFLUENCE ON THE ELASTIC WAVES
SPREADING VELOCITY

A b s t r a c t

During the armenian felsites and tuffs dry and water-saturated samples elastic characteristics investigation it is revealed that water-sa-

turation leads to decreasing of transversal and longitudinal waves velocities. The mechanism of this process is considered and it is shown that such an effect is possible for rocks with granular porosity when jointing is absent or has a negligibly poor development.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авчян Г. М. Физические свойства осадочных пород при высоких давлениях и температурах. М., «Недра», 1972, 144с.
2. Авчян Г. М., Матвеевко А. А. Влияние насыщающей жидкости на скорость распространения продольных волн в осадочных породах при высоких давлениях и температурах.—Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1955, № 3, с. 65—70.
3. Авчян Г. М., Матвеевко А. А., Стефанкович З. Б. Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях. М., Недрa, 1979, 224с.
4. Авербух А. Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке. М., Недрa, 1982, 232с.
5. Грегори А. Р. Изменение скорости поперечных волн в образцах осадочных пород при сжатии.—В кн.: Механика горных пород. М., Недрa, 1966, с. 260—285.
6. Добрынин В. М. Деформация и изменение физических свойств коллекторов нефти и газа. М., Недрa, 1970, 237с.
7. Механика насыщенных пористых сред. М., «Недрa», 1970. 339с. Авт.: В. Н. Николаевский, Е. С. Басниев, А. Т. Горбунов, Г. А. Зотов.
8. Оценка возможности применения сейсмической разведки для прямых поисков нефтяных залежей. М., Изд-во АН СССР, 1961. 131с. Авт.: М. Ф. Мирчник, И. Я. Баллак, Л. А. Сергеев и др.
9. Петкевич Г. И. Информативность акустических характеристик неоднородных геологических сред. Киев, Наукова думка», 1976. 212с.
10. Петкевич Г. И., Вербицкий Т. З. Исследование упругих свойств пористых геологических сред, содержащих жидкости. Киев, изд-во АН УССР, 1965. 250с.
11. Френкель Я. И. К теории сейсмических и сейсмоэлектрических явлений во влажной почве «Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз.», т. 8, № 4, 1944, с. 133—150.
12. Biot M. A. Theory of propagation of elastic waves in fluid saturated porous solids.—„J. Acoust. Soc. of America“, 1956, vol. 28, № 2. p. 168—191 with 11.
13. Geertsma J. The effect of fluid pressure decline on volume changes of porous rocks.—„Trans. AIME“, 1957, vol. 210, p. 331—339.
14. King M., Fatt J. Ultrasonic shear wave velocities in rock subjected to simulated overburden pressure.—„Geophysics“, 1962, vol. 27, p. 590—598.
15. Wyllie M. R., Gardner, G. H. F., Gregory A. R. Studies of elastic wave attenuation in porous media.—„Geophysics“, vol. 27, № 5, 1962, p. 569—590.

Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, XXXVIII, № 3, 54—62, 1985.

А. И. БРОТГАНДЕЛЬ, Т. Т. ГВЕРДЦИТЕЛИ, Г. Т. ГЕЛОВАНИ,
Н. Э. ЛОМИДЗЕ, Г. А. НАДИБАИДЗЕ, В. К. СЕРАФИМОВ,
Г. К. СУЛАКВЕЛИДЗЕ, М. Б. ЧИКВАИДЗЕ, Г. З. ЭЛБАКЯН.

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГРАДОВОГО ОБЛАКА И ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГРАДОВЫЙ ПРОЦЕСС

Обсуждается процесс градообразования в вертикальном разрезе градового облака при неизменном направлении ветра. Принимается, что выпадение крупных градин начинается в той области градового облака, где восходящие потоки имеют максимальную скорость. Выявлен новый механизм выпадения градин, который при