

Научно-практическая конференция  
«СЕЙСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

# Применение акустики к исследованию горных пород

В.П. Епифанов



Институт проблем механики  
им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва



*Препятствие на ложе ледника*

# Выбор рабочих частот

определяется масштабом природного явления.

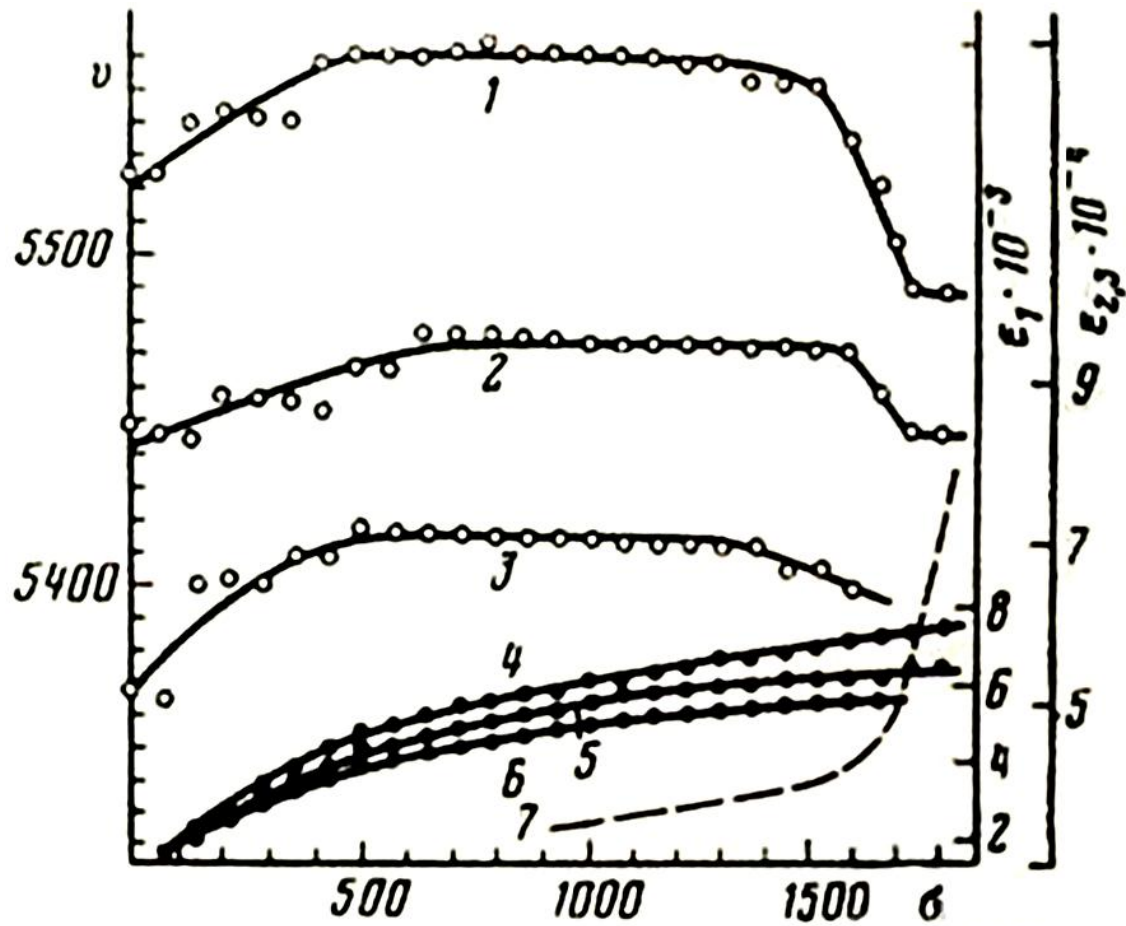
Геофизический масштаб  $< 10^2$  Гц.

$$\lambda \square \bar{D} \geq 10^3 \dots 10^8 \text{ Гц}$$

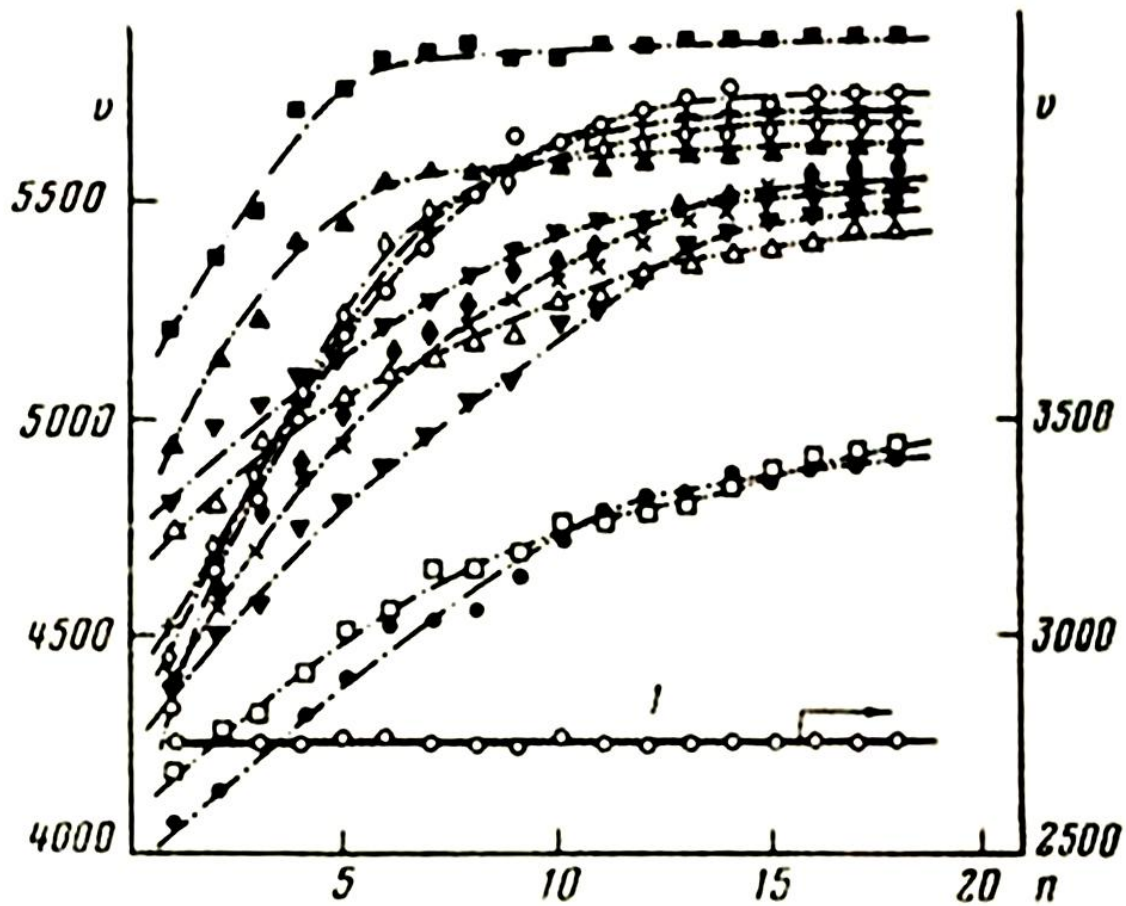
- Механизмы деформирования, контроль уровней структуры, размеров текстуры технологические процессы

M. Gyrski, *Seismic Events in Glaciers*, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, DOI: 10.1007/978-3-642-31851-1\_4, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

# Гранит *Циклическое нагружение*



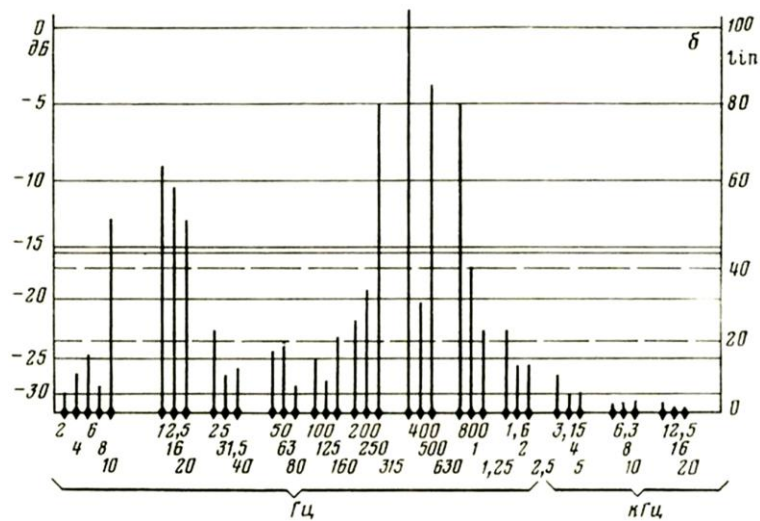
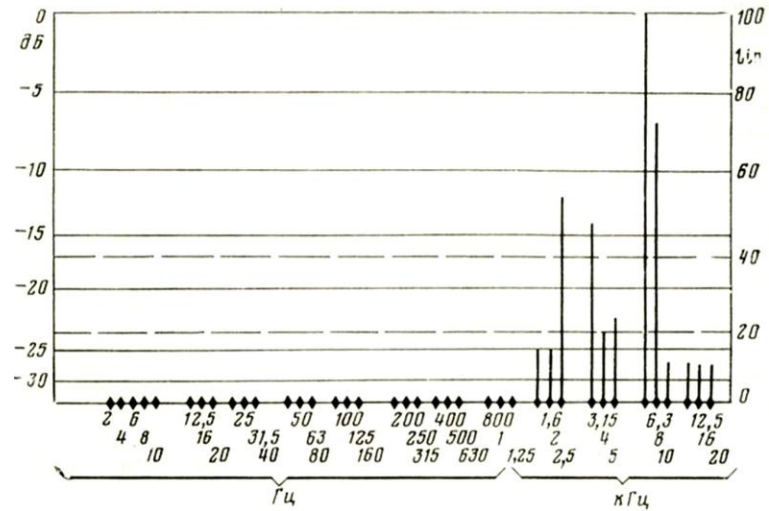
# Гранит *Насыщение маловязкой жидкостью*



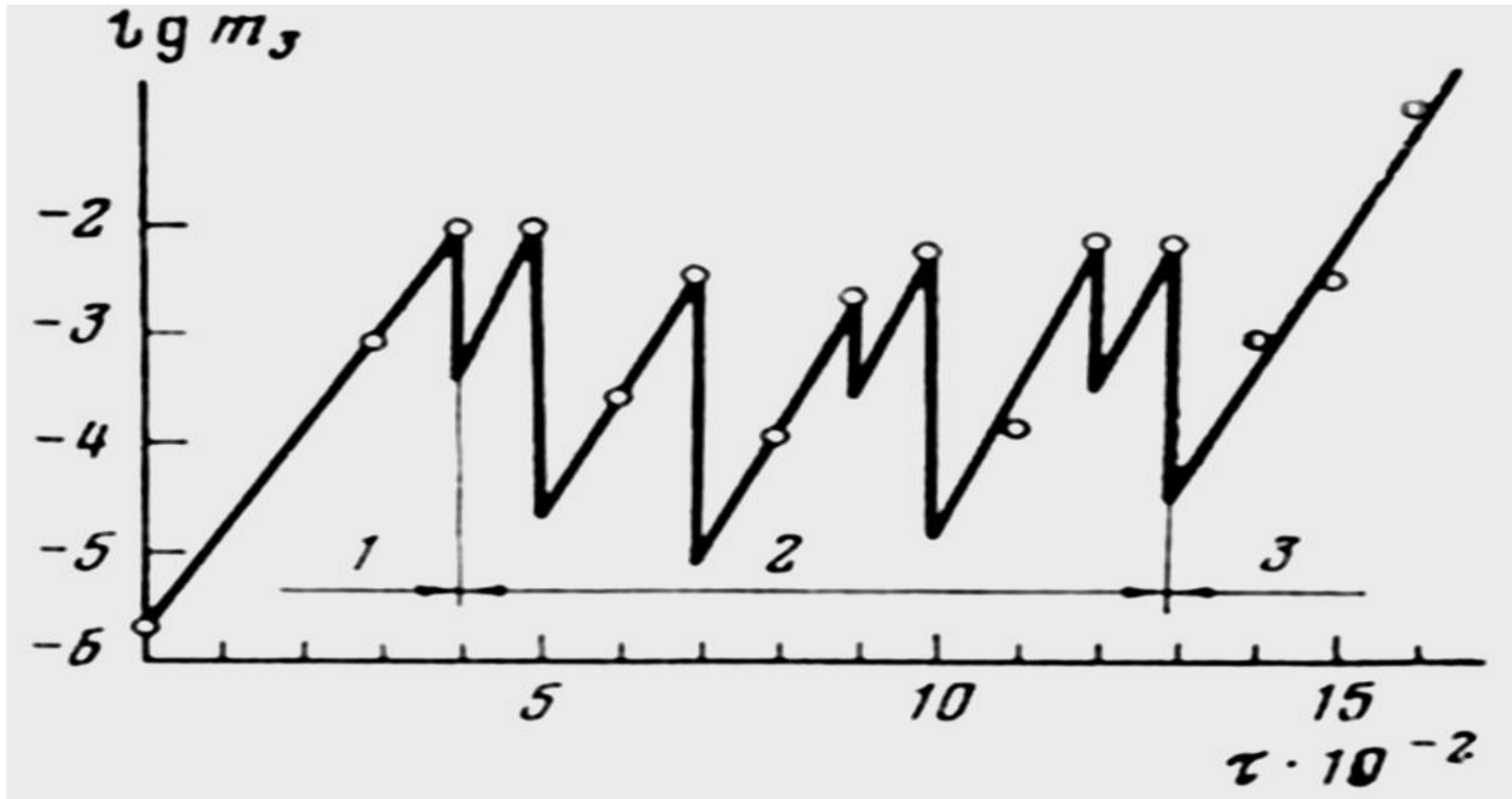


# Гранит

## Спектры разрушения

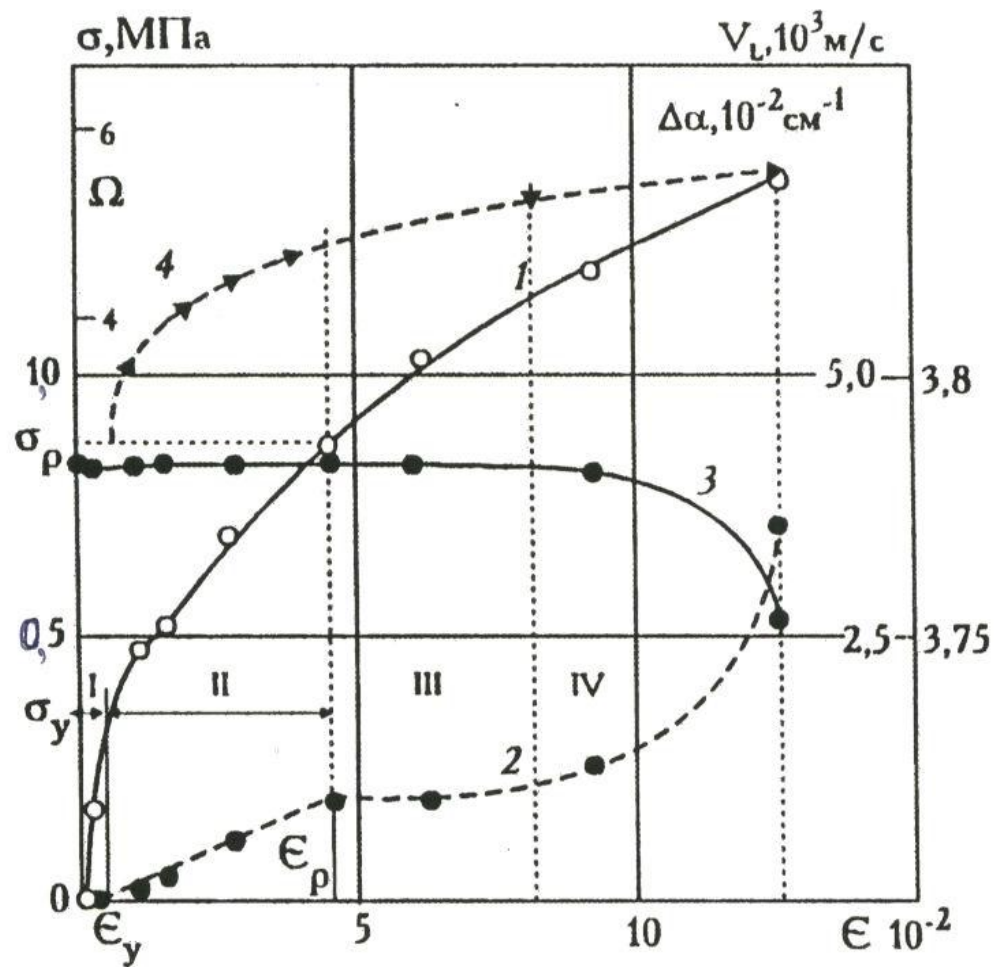


# Гранит *Изменение присоединенной массы в процессе роста магистральной трещины*



Елифанов В.П., Воронова И.Ю. Акустические исследования структурных изменений гранита при осевом сжатии // Акустический журнал, 1980. Т. XXVI, вып. 3. С.371-376.

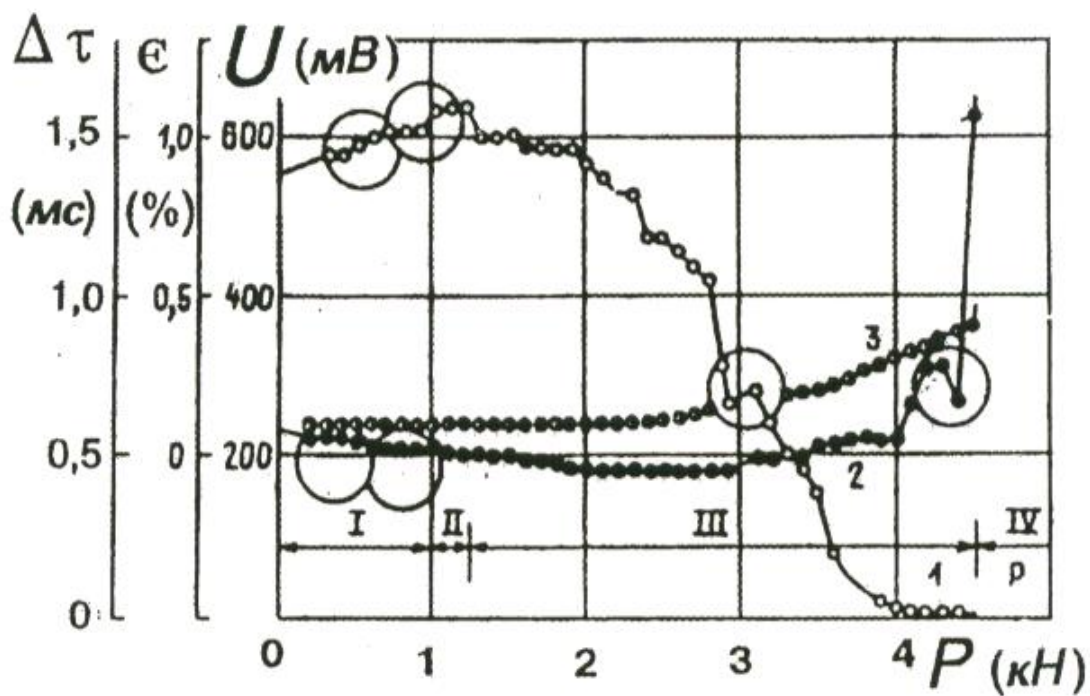
# Лед. Растяжение. Области деформирования и накопление дефектов



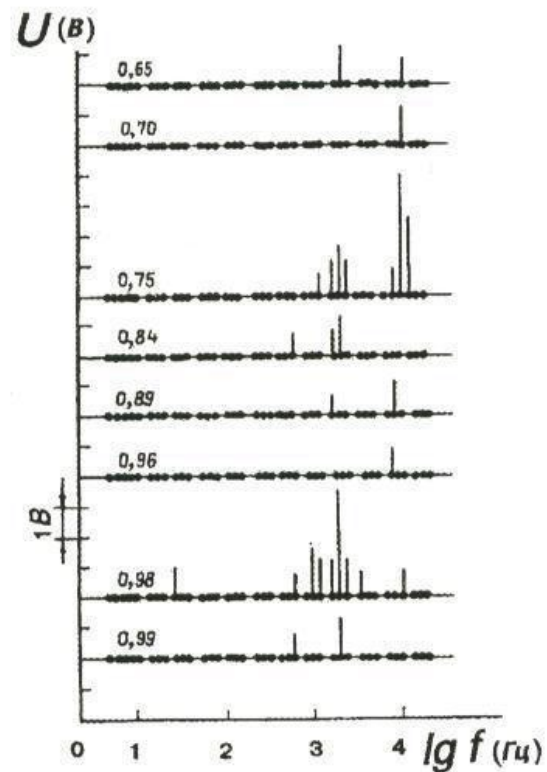
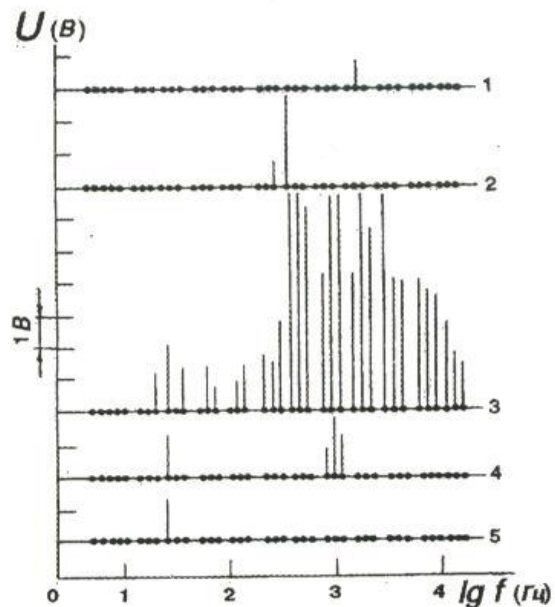
$$\Omega = \Lambda L^2$$



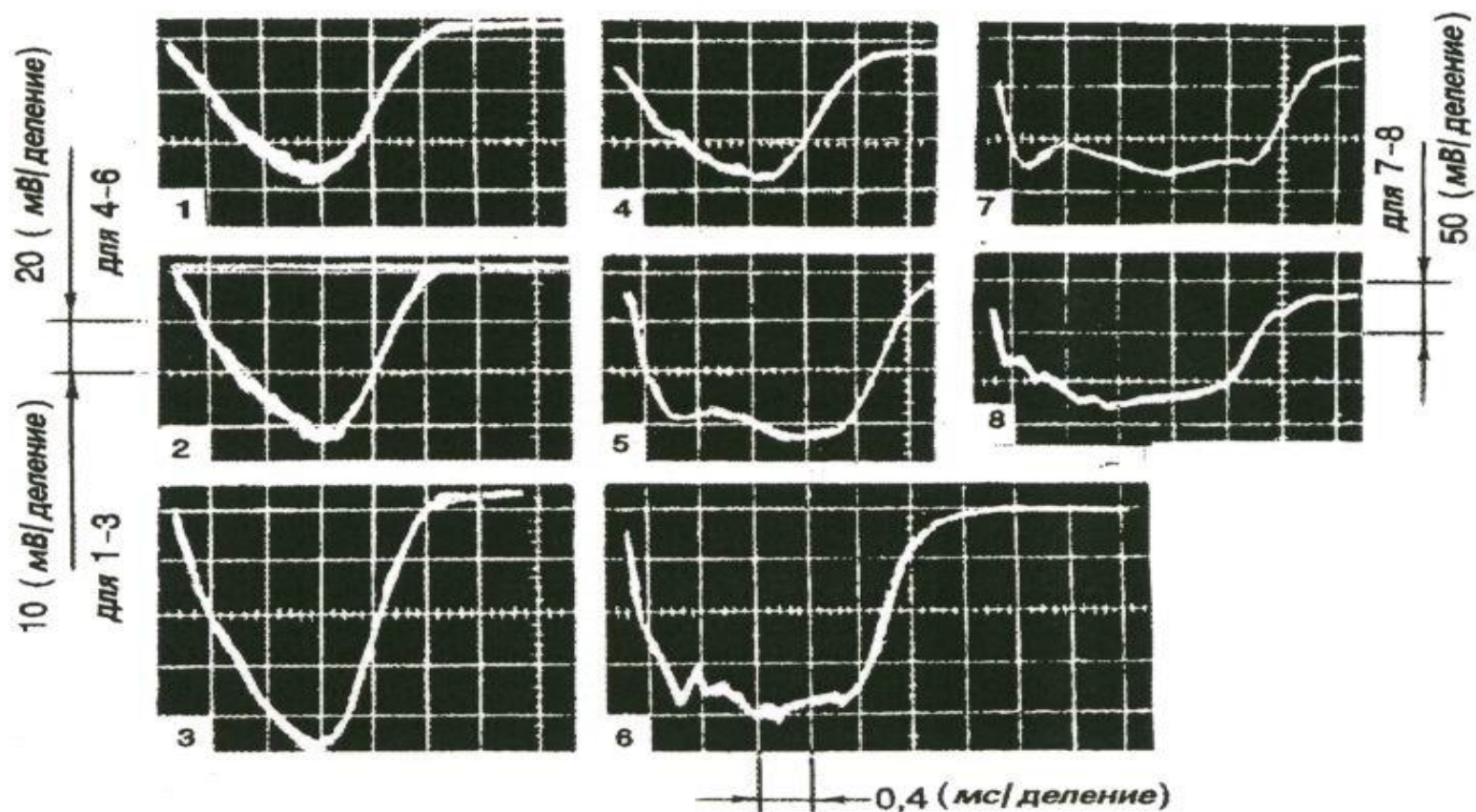
# Эффект изменения скорости и поглощения перед разрушением



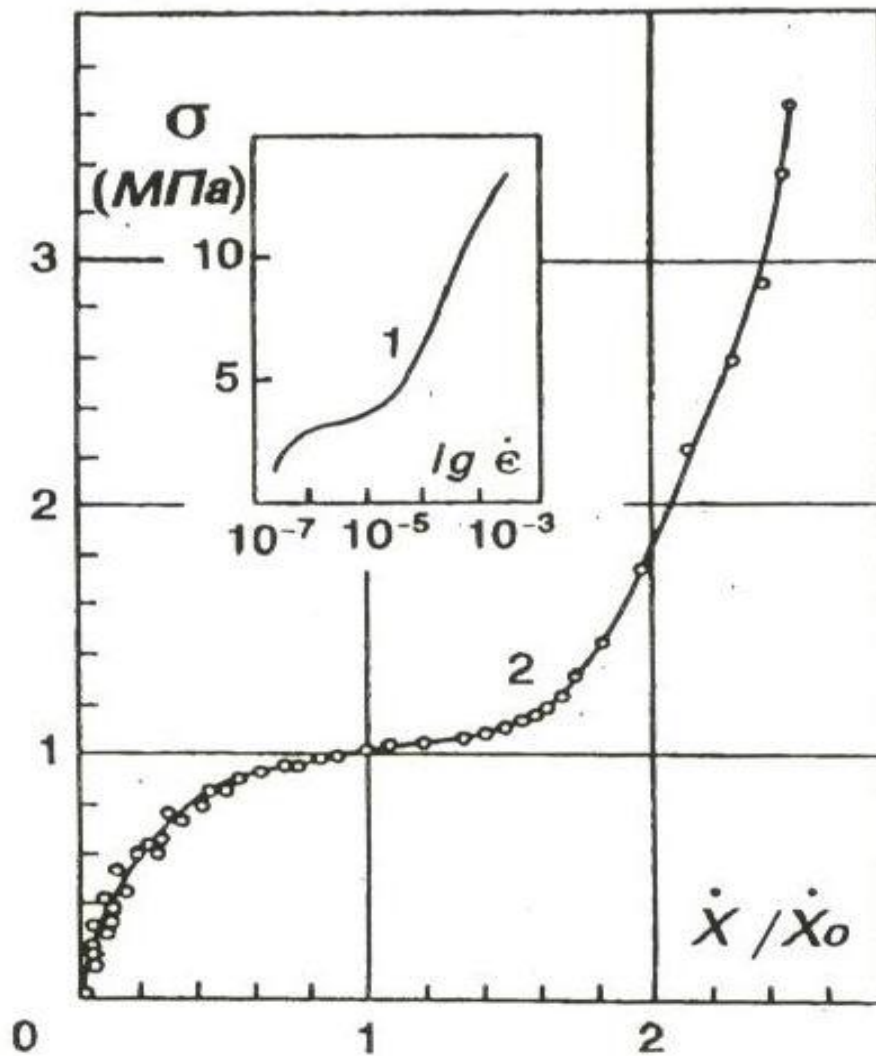
# Корреляция сигналов АЭ с фазами роста магистральной трещины



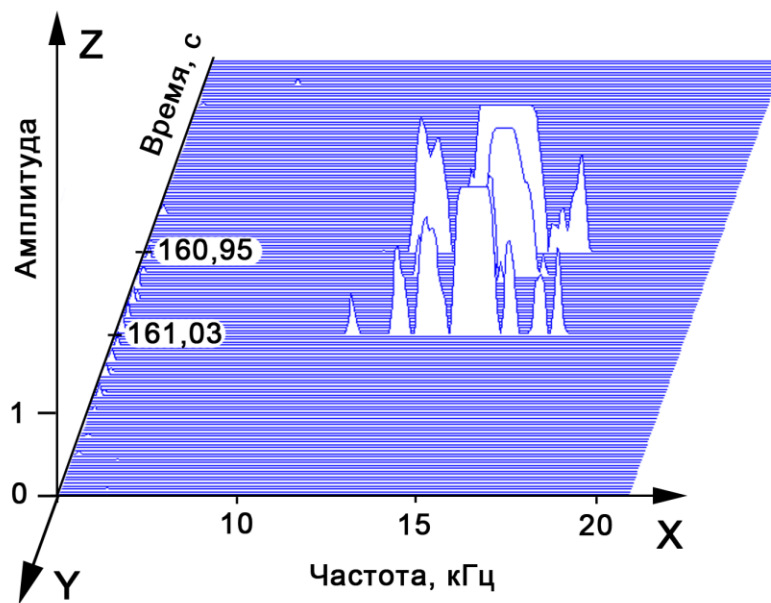
# Осциллограммы ударного взаимодействия шарового индентора со льдом



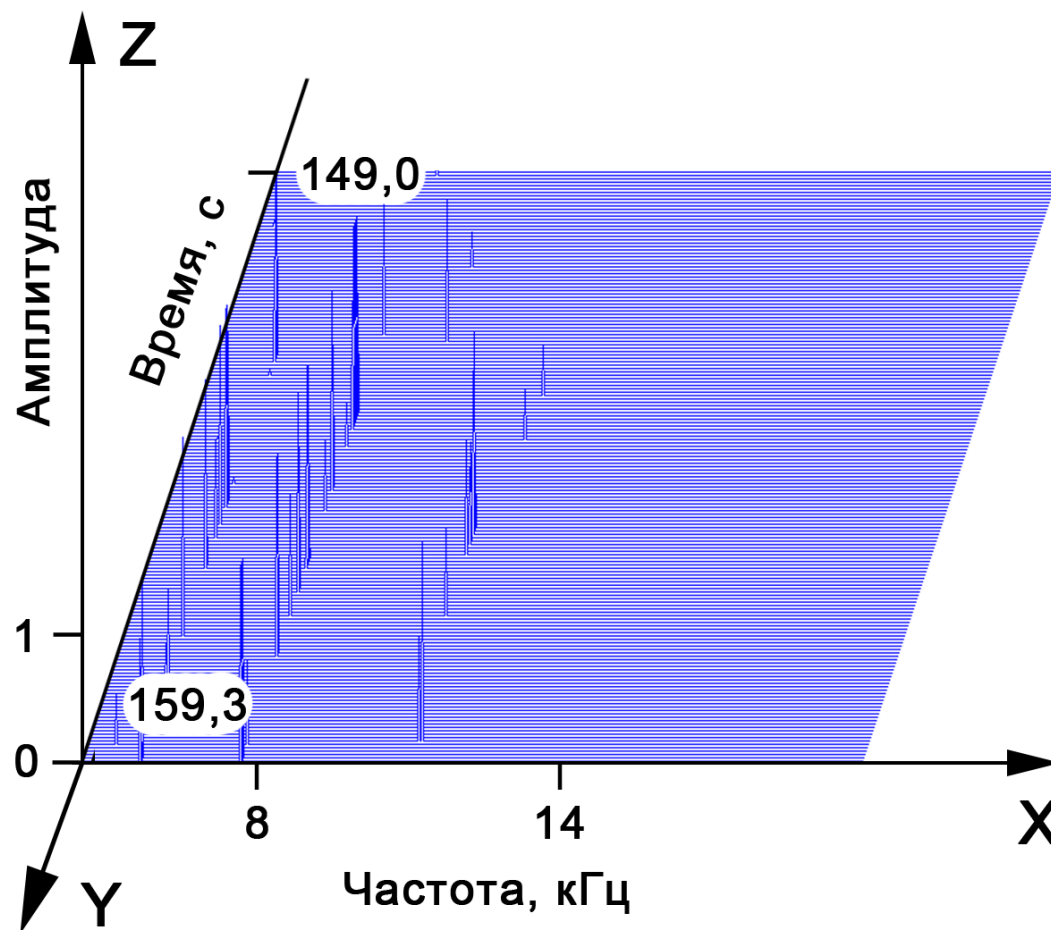
$\sigma/\sigma_0$



# Адгезионное разрушение контакта льда с гладкой подложкой

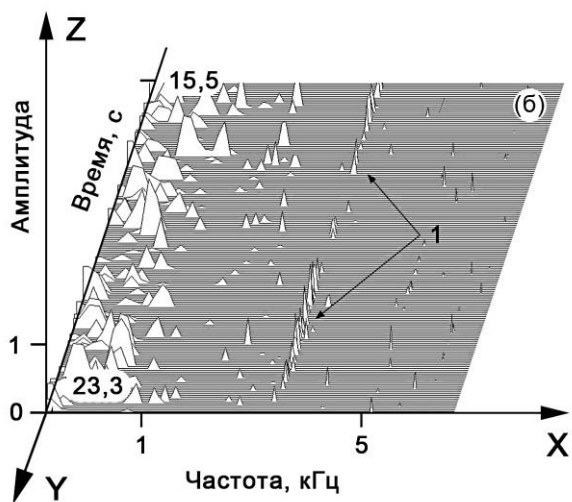
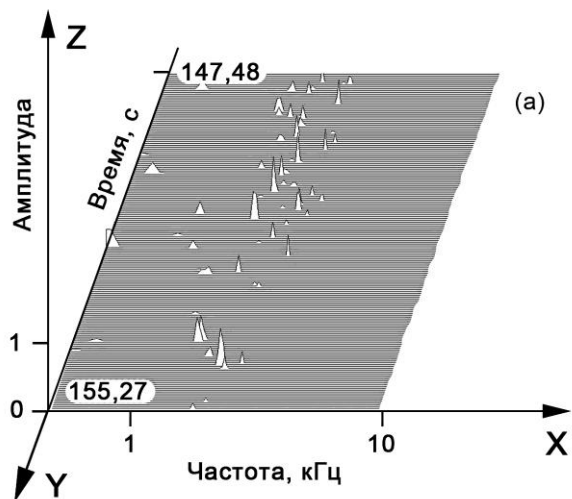


# Когезионное разрушение на препятствии



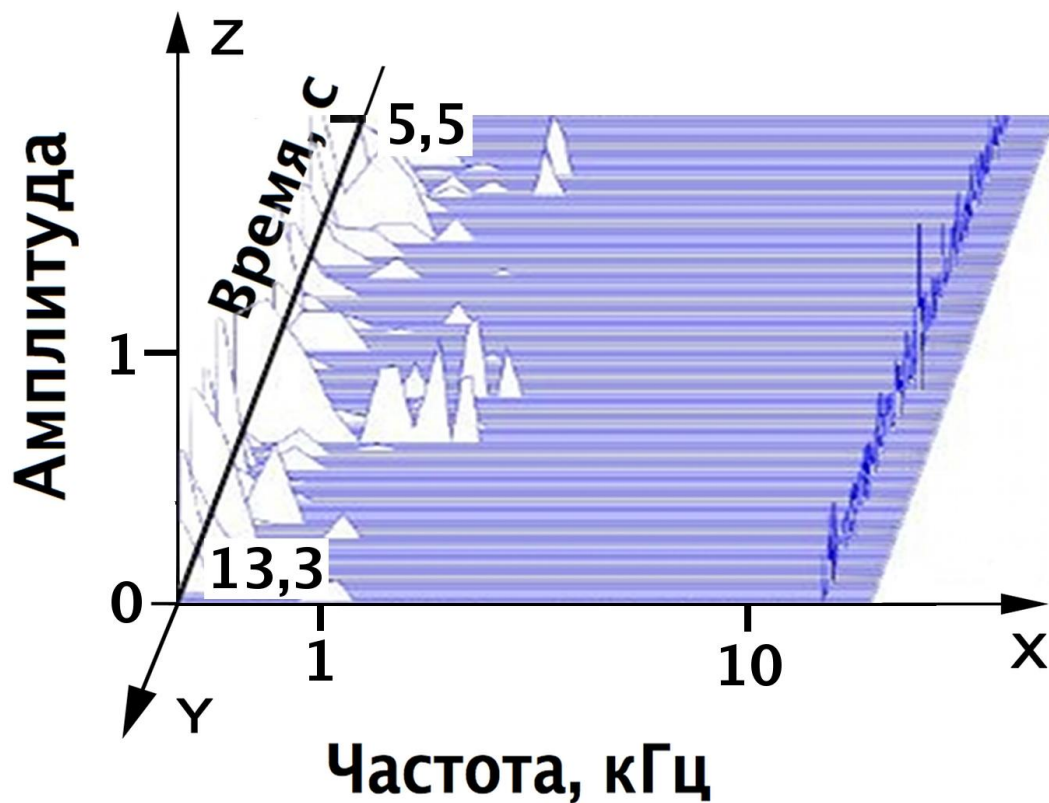


# Сигналы АЭ в леднике Альдегонда:



Акустическая диагностика снежного покрова.

Собственные амплитудно-частотные спектры  
акустических колебаний в снежном покрове на склоне  
горы Улаф, Шпицберген



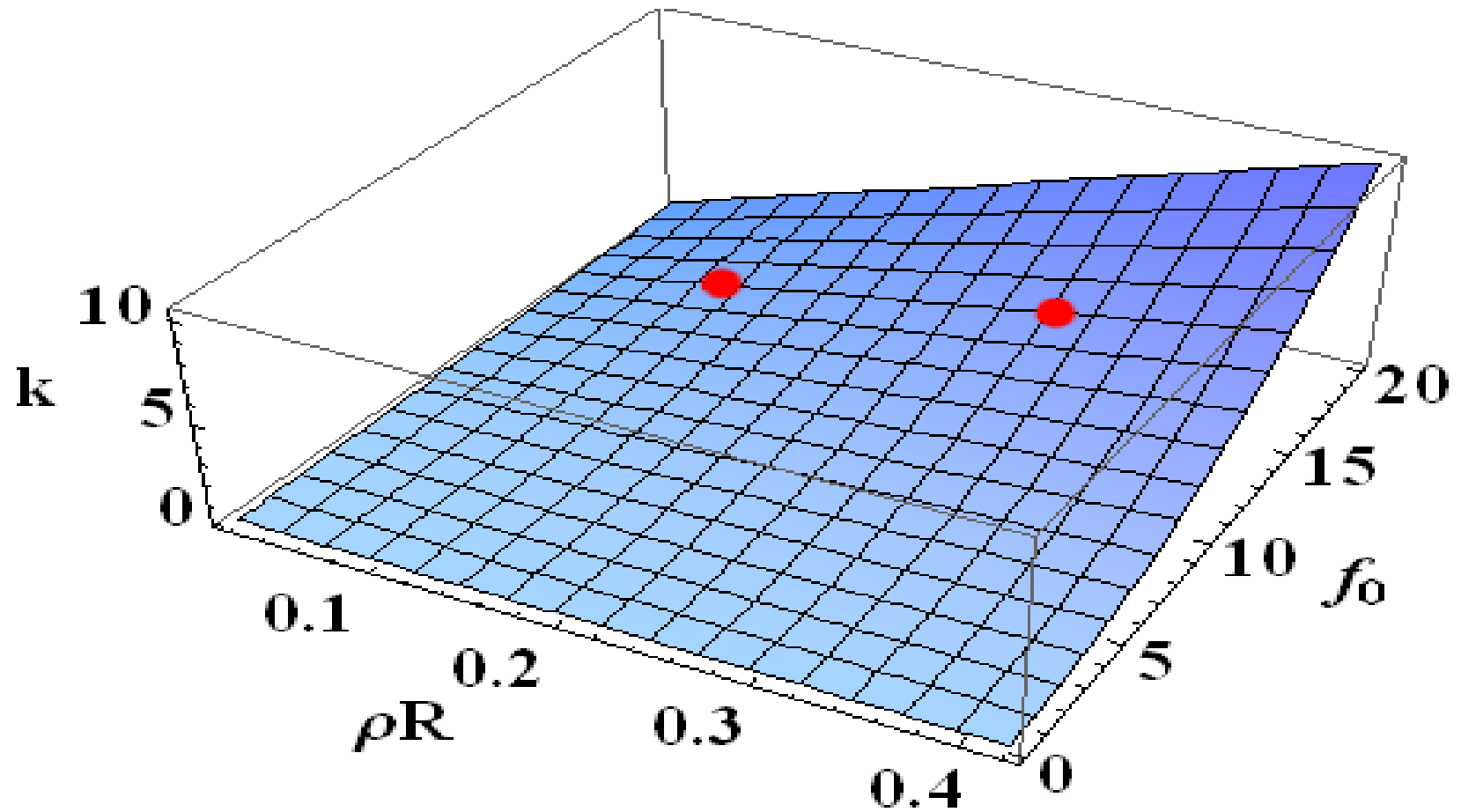
**Таблица** Характеристики снега в однородном слое при  $T_s = -14,5^\circ \text{C}$

• Плотность, $\text{кг/м}^3$	366
• Диаметр зерна, мм	0,6
• Скорость продольной волны, м/с	2463...2477
• Скорость сдвиговой волны, м/с	14100...1409
• Коэффициент Пуассона	0,26
• Модуль сдвига, МПа	728
• Динамический модуль упругости, ГПа	2,2
• Объемный модуль упругости, ГПа	1,53
• Время релаксации, с	330...377
• Сдвиговая вязкость снега, ГПа	240...270
• Вязкость разрушения, $\text{кПа}\cdot\text{м}^{1/2}$	29

## Обратная акустическая сжимаемость

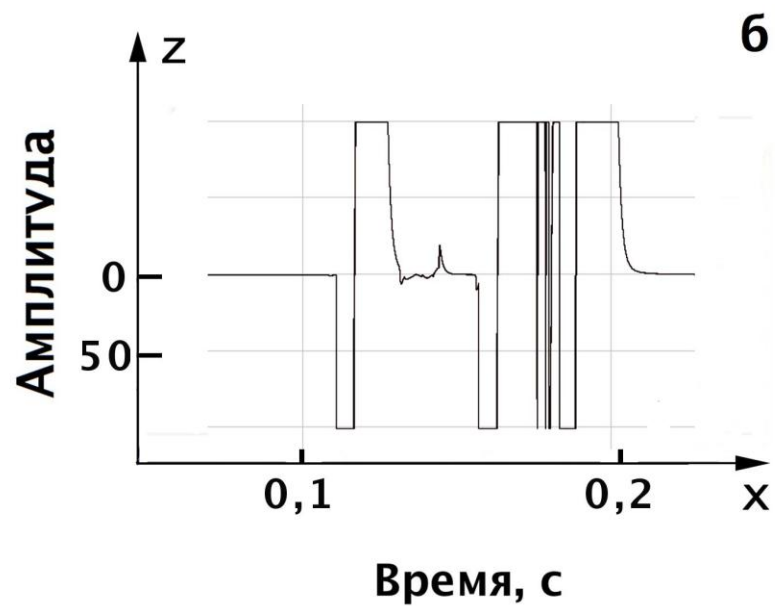
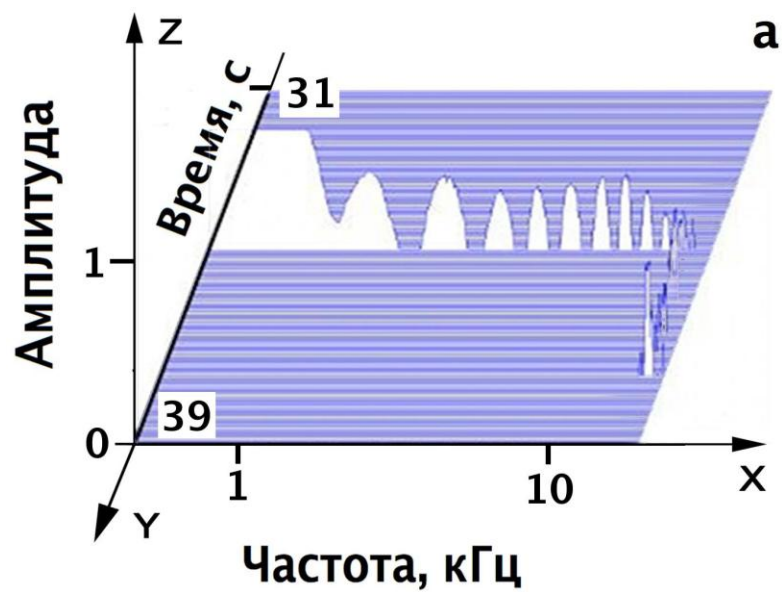
$$k = 2\pi^2 \rho (f_0^2 R)$$

$$b = 4,52 \cdot 10^{-10} \text{ м}, \quad G = 2,91 \cdot 10^9 \text{ Па} \quad \frac{k}{G} = 0,33 \text{ [1/м]}; \quad \frac{kb}{G} = 1,5 \cdot 10^{-9}$$





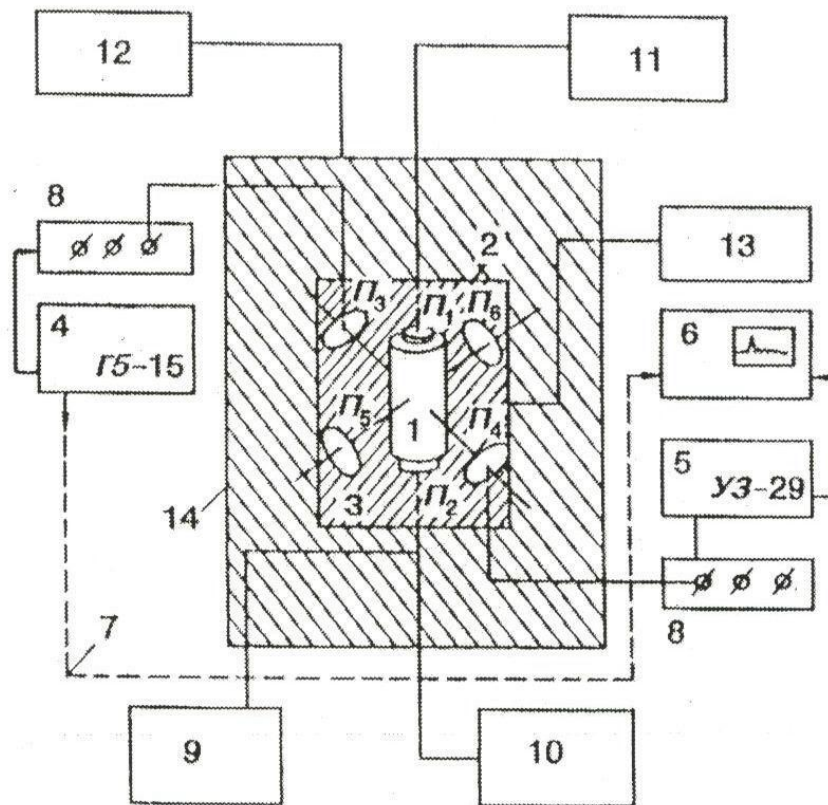
## Отклик разновозрастных слоев



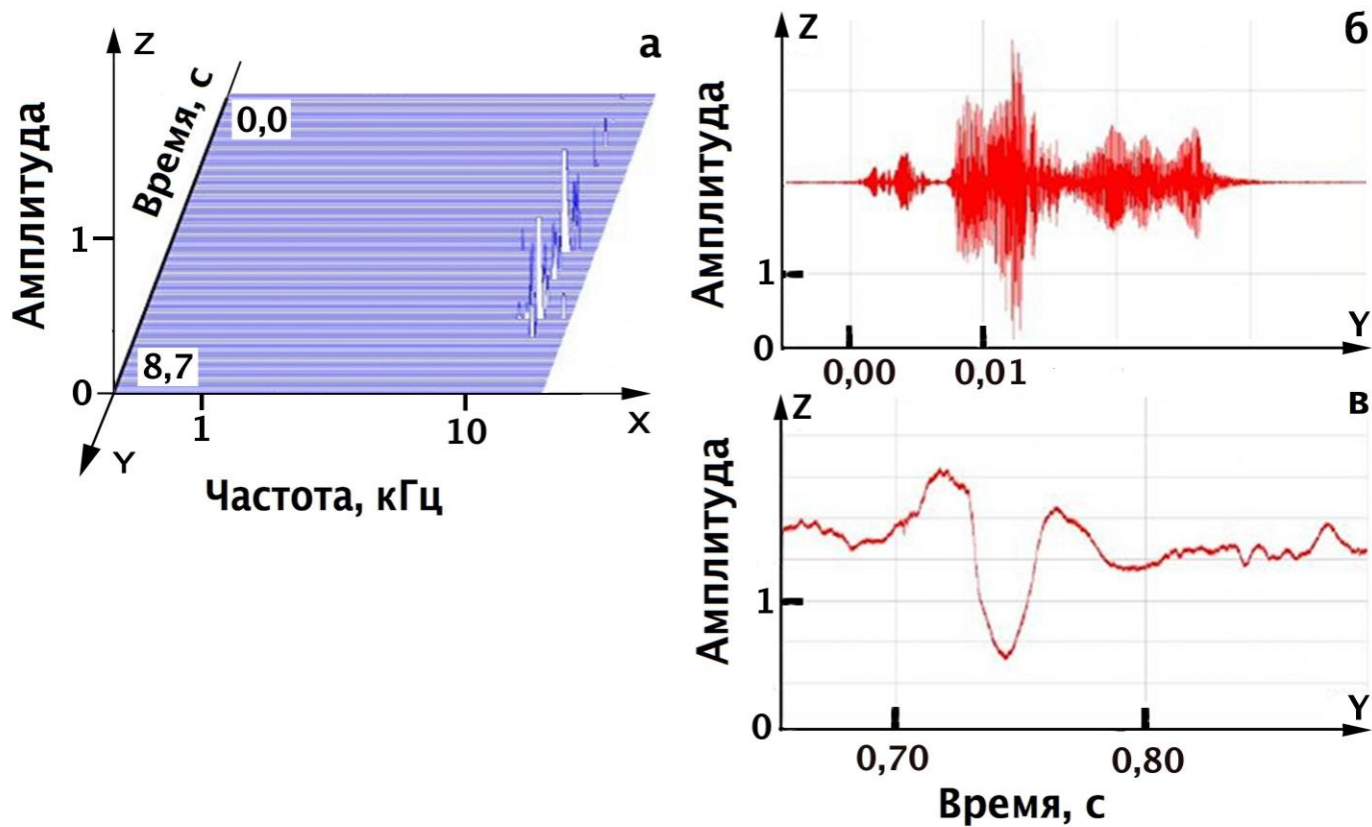
Спасибо за внимание



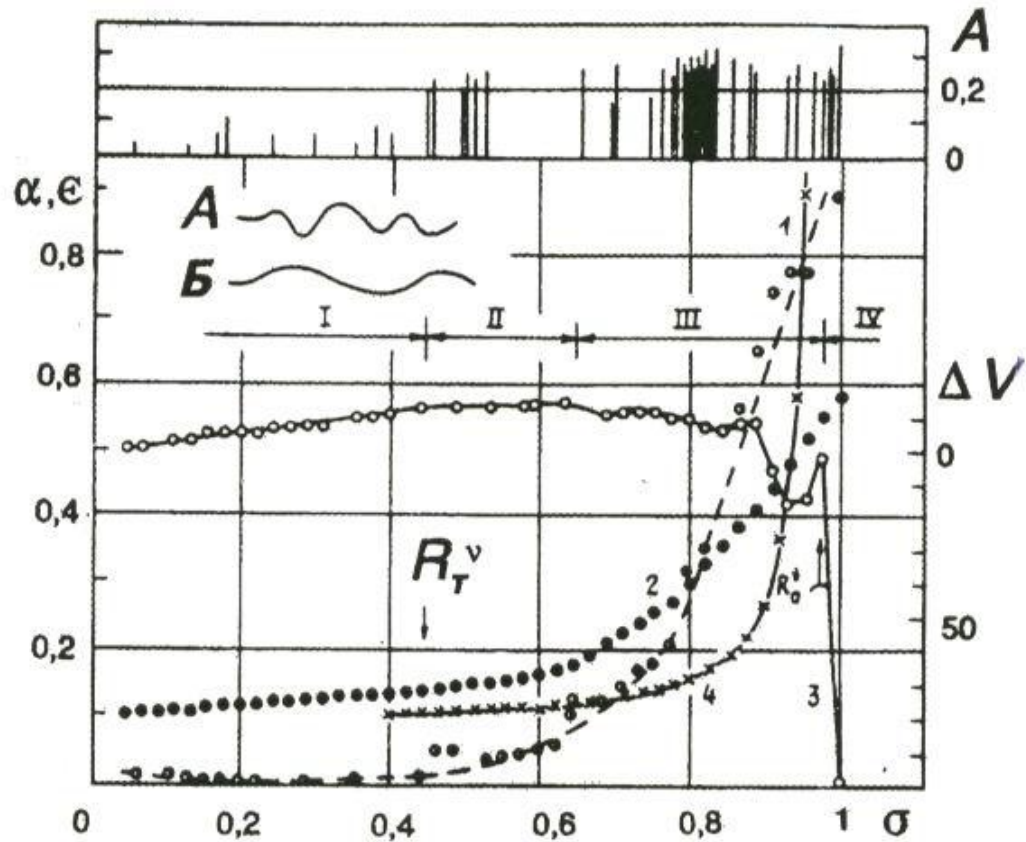
# Методы и схема установки



# Скрип снега, сопровождающий шаги экспериментатора и удар



# Лед. Сжатие.

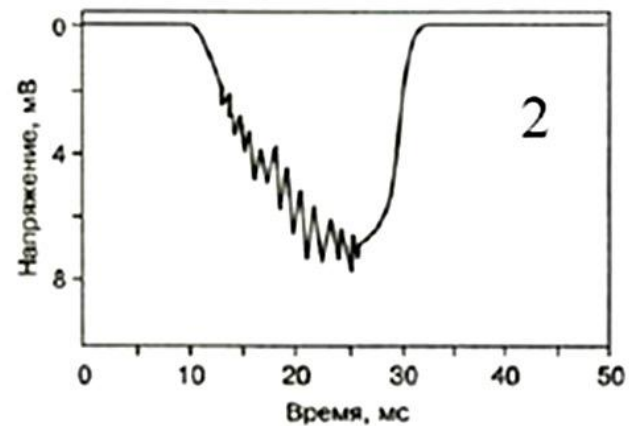
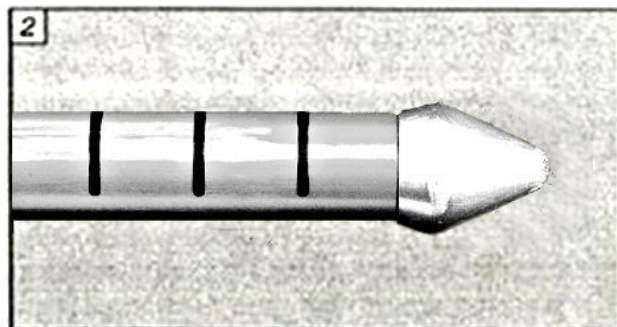
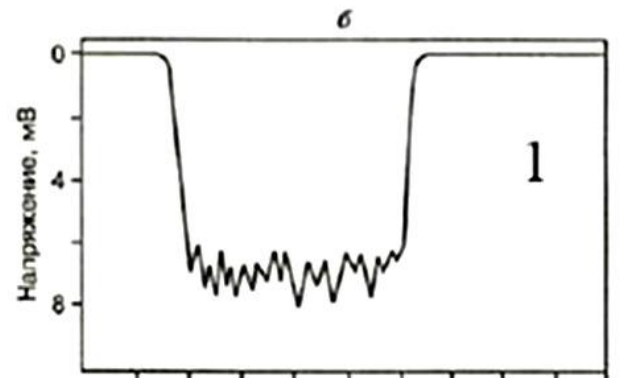
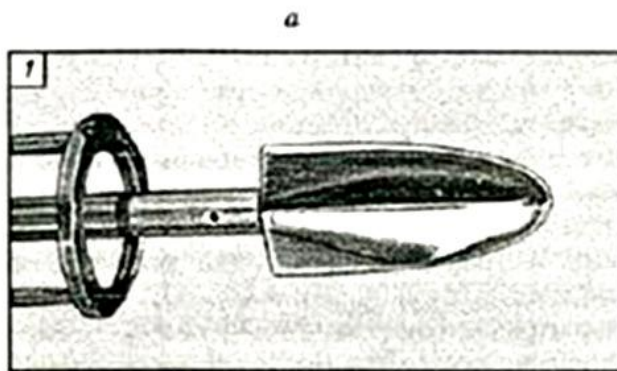


## Высокочастотная мода спектра

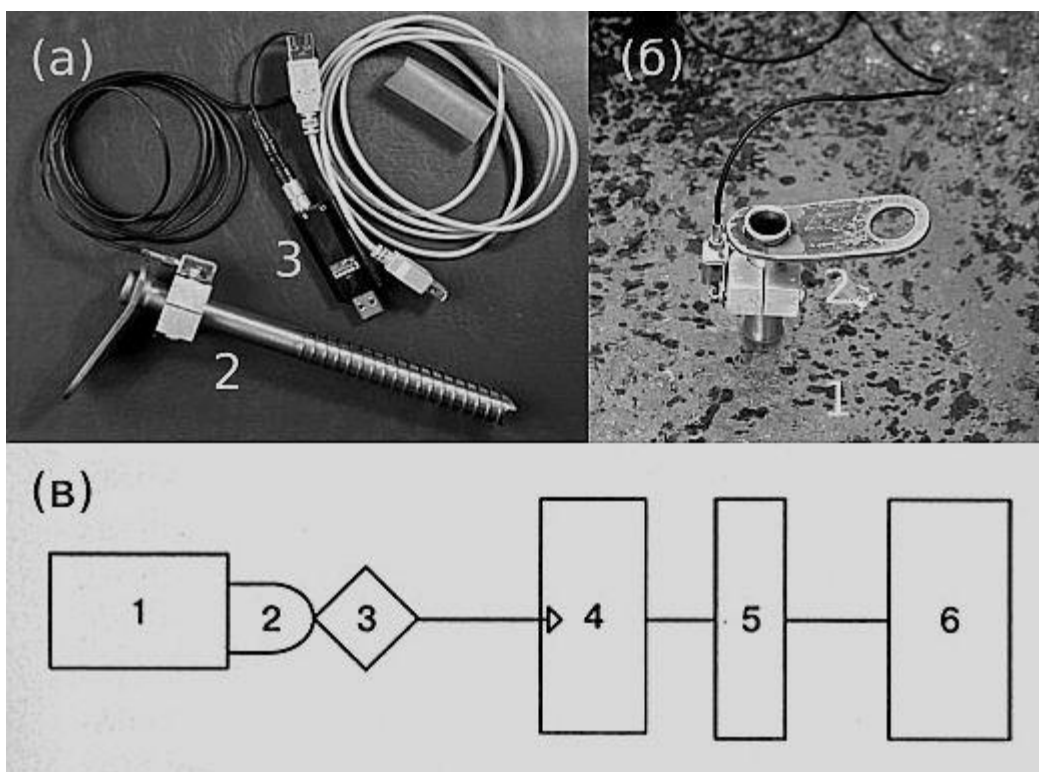




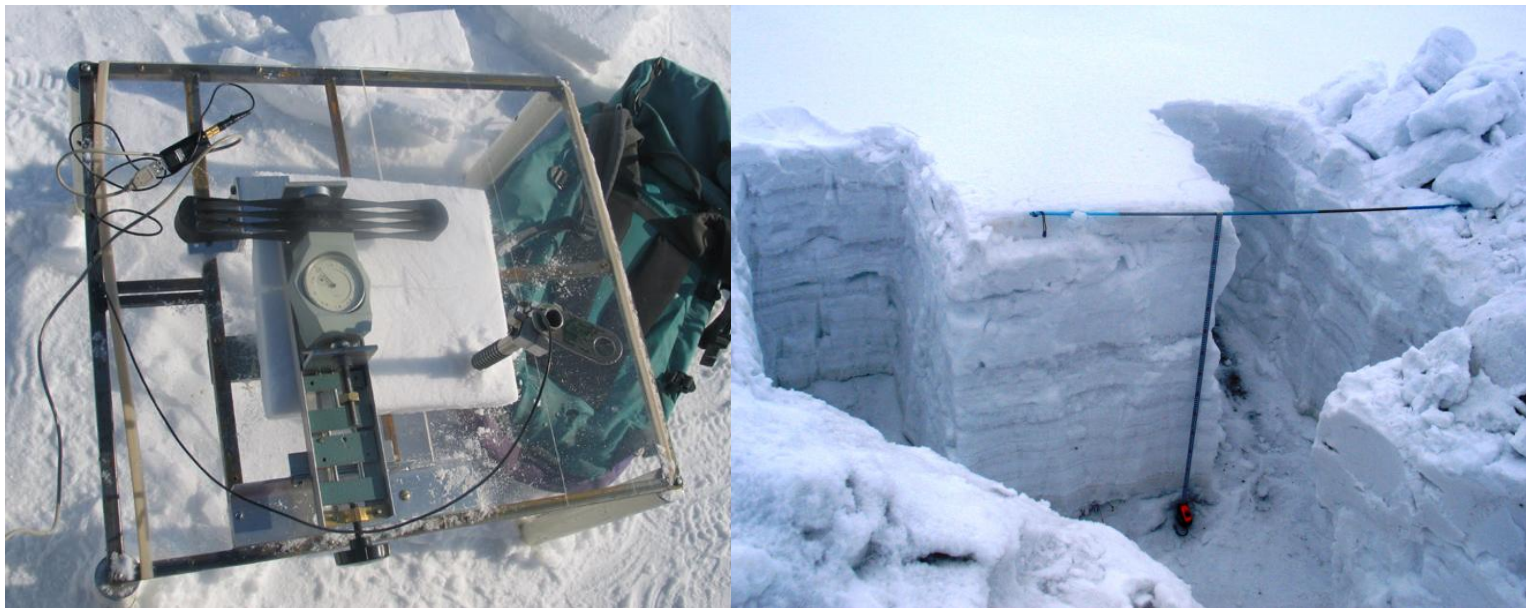
# Влияние формы наконечника на результат измерений



# Измерительная линия



## Вязкость разрушения снега



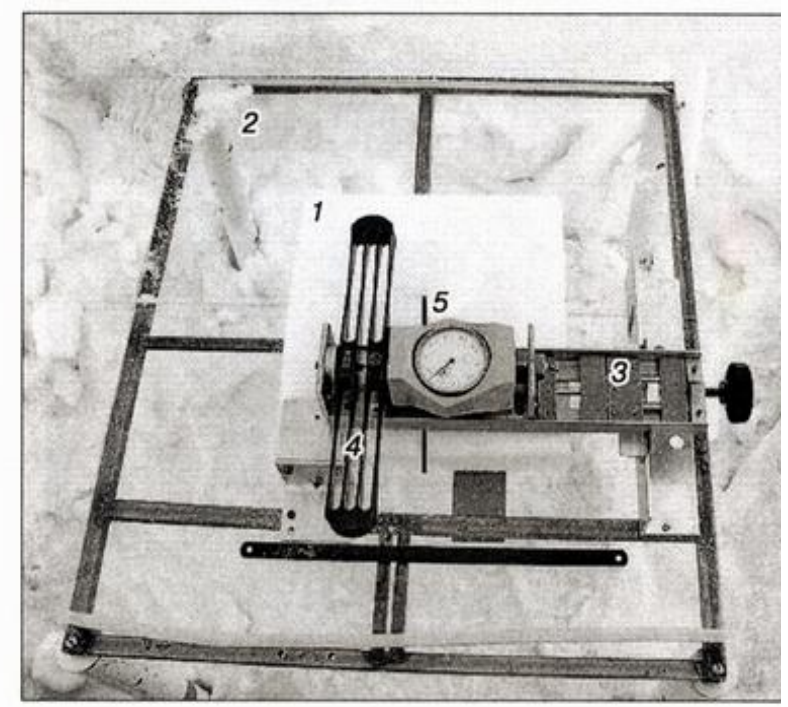
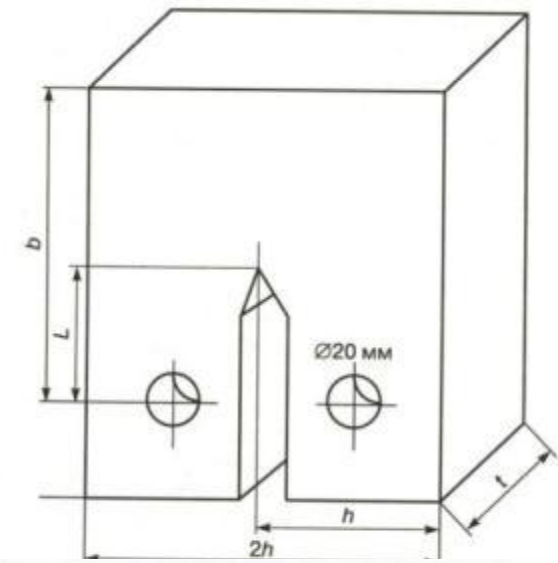
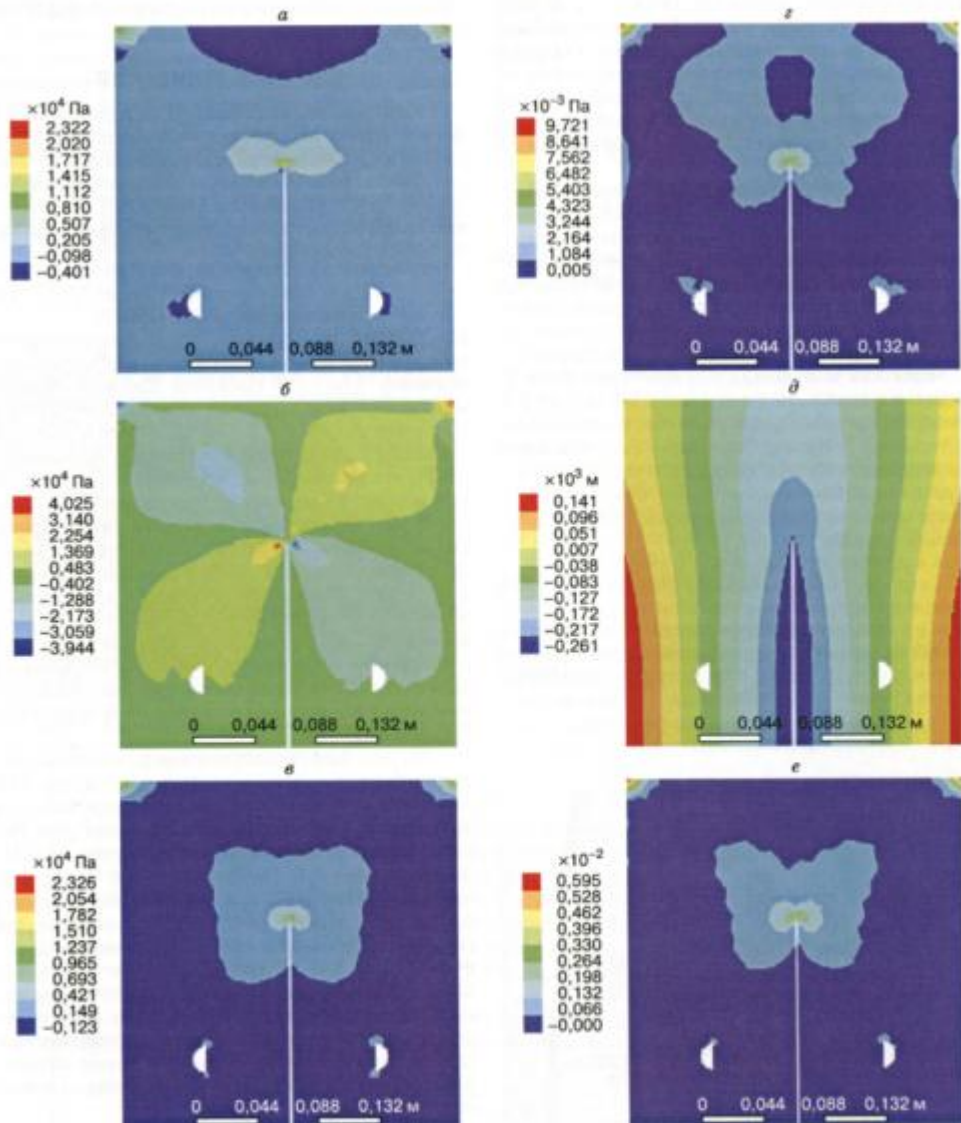
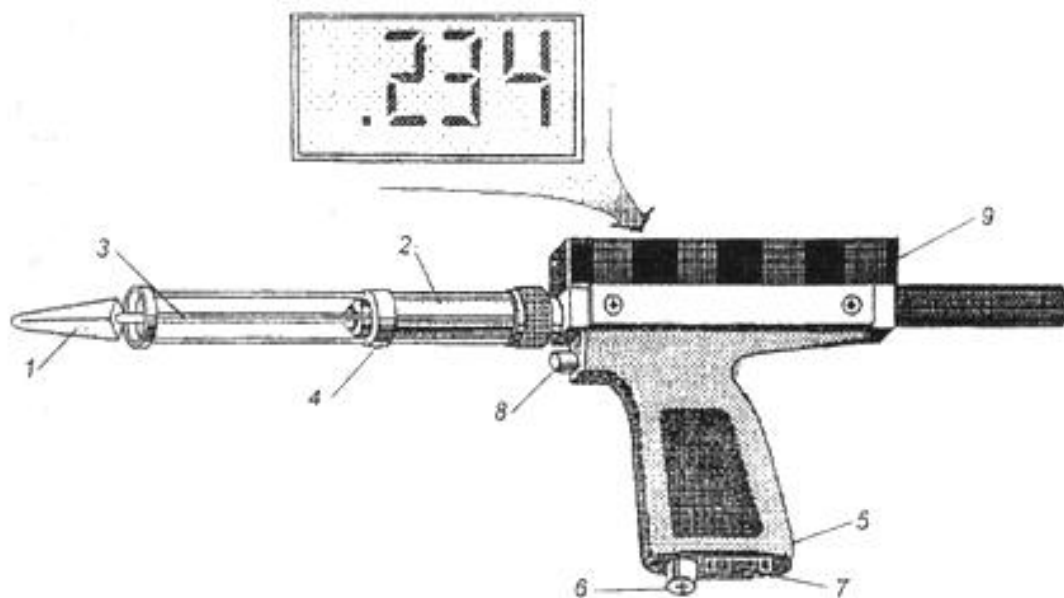


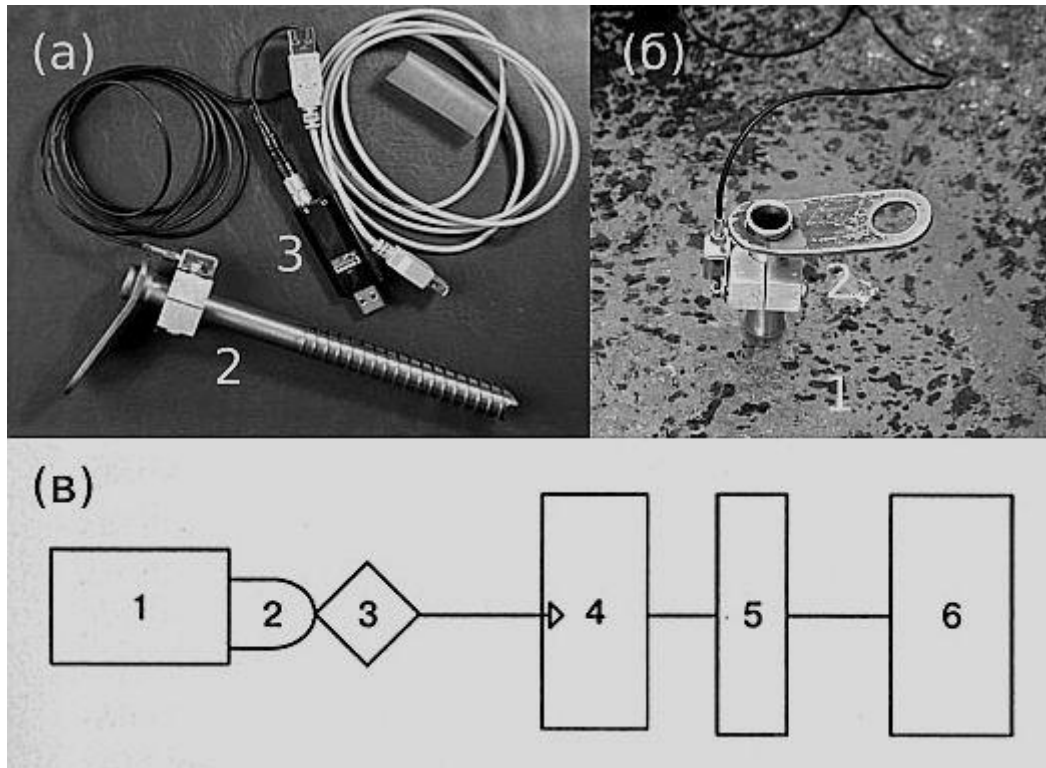
Рис. 2. Изополя нормальных напряжений (*a*), касательных напряжений (*б*), главных максимальных напряжений (*в*), максимальных касательных напряжений (*г*), перемещений вдоль оси надреза (*д*) главных деформаций (*е*) для исследуемого образца снега.

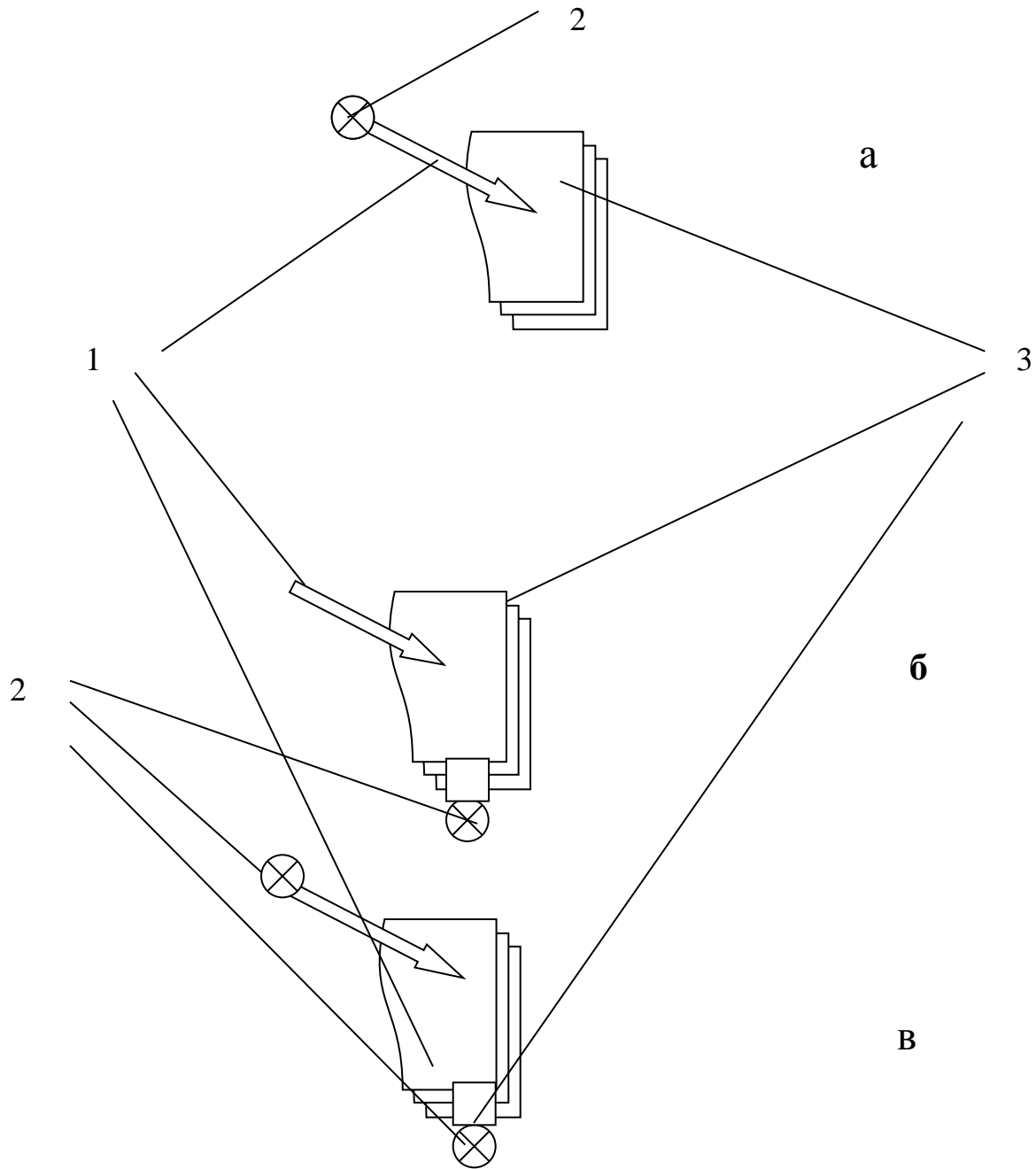
# Твердость снега



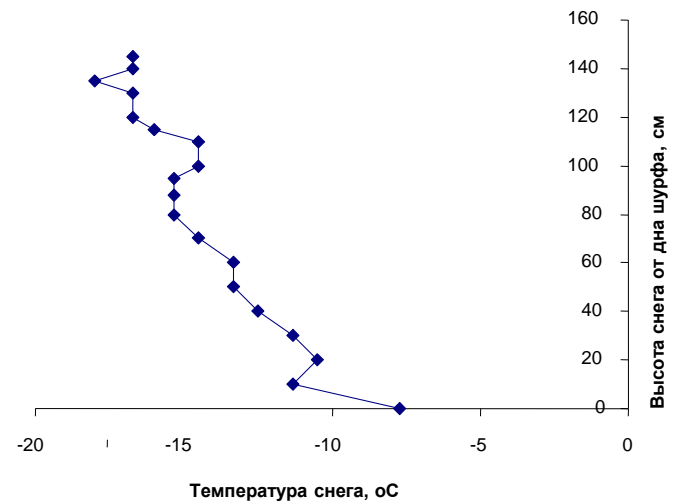
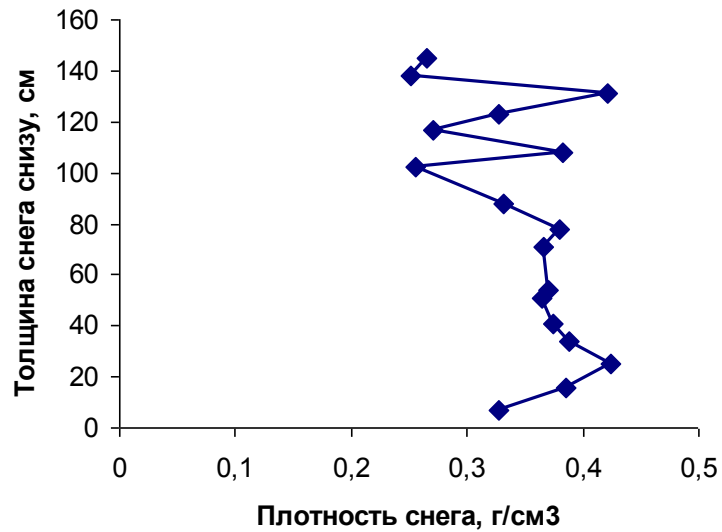


# Акустическая измерительная линия





# Плотность и температура снега





Например, характеристики *одновозрастного слоя*

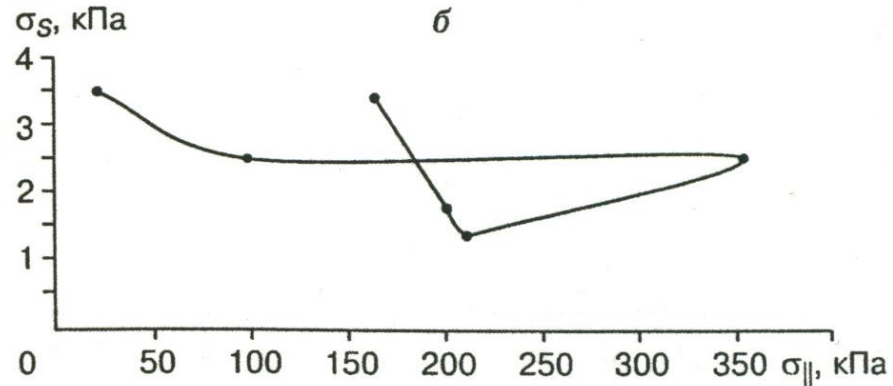
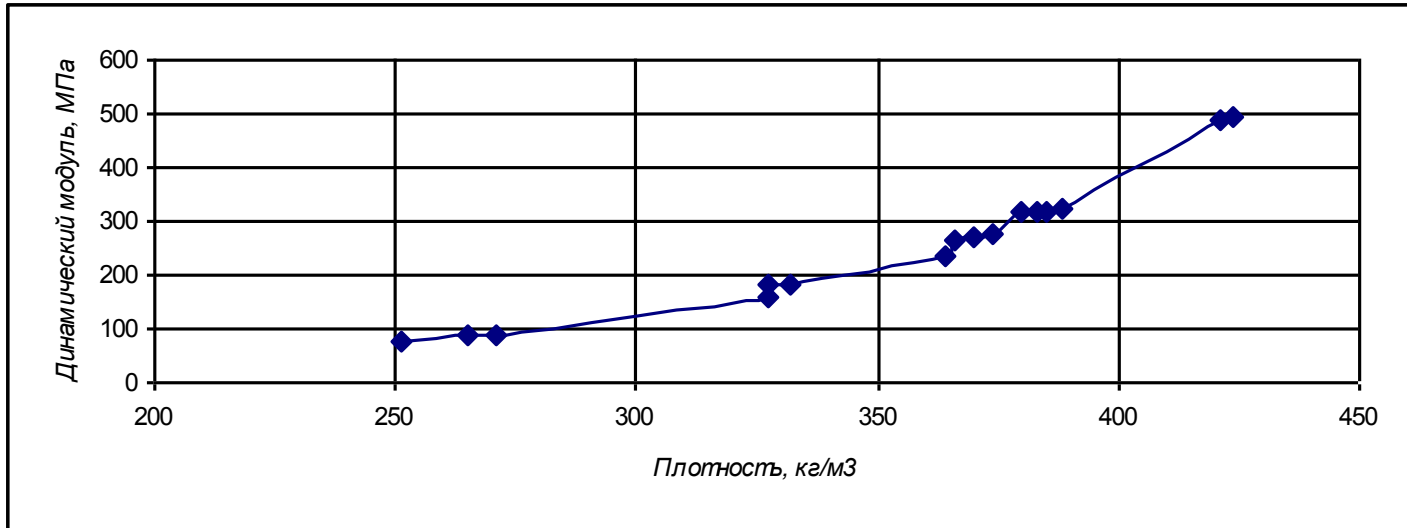
фирн средней зернистости  $\bar{D} = 0,6$  мм,  $\rho_s = 366$  кг/м<sup>3</sup>  $T_s = -14,5^\circ$  С

$V_p = 2470 \pm 7$  м/с,  $V_s = 1410 \pm 9$  м/с,  $\mu = 0,26$ ,  $G = 7,28 \cdot 10^8$  Па, Един =  $2,2 \cdot 10^9$  Па,

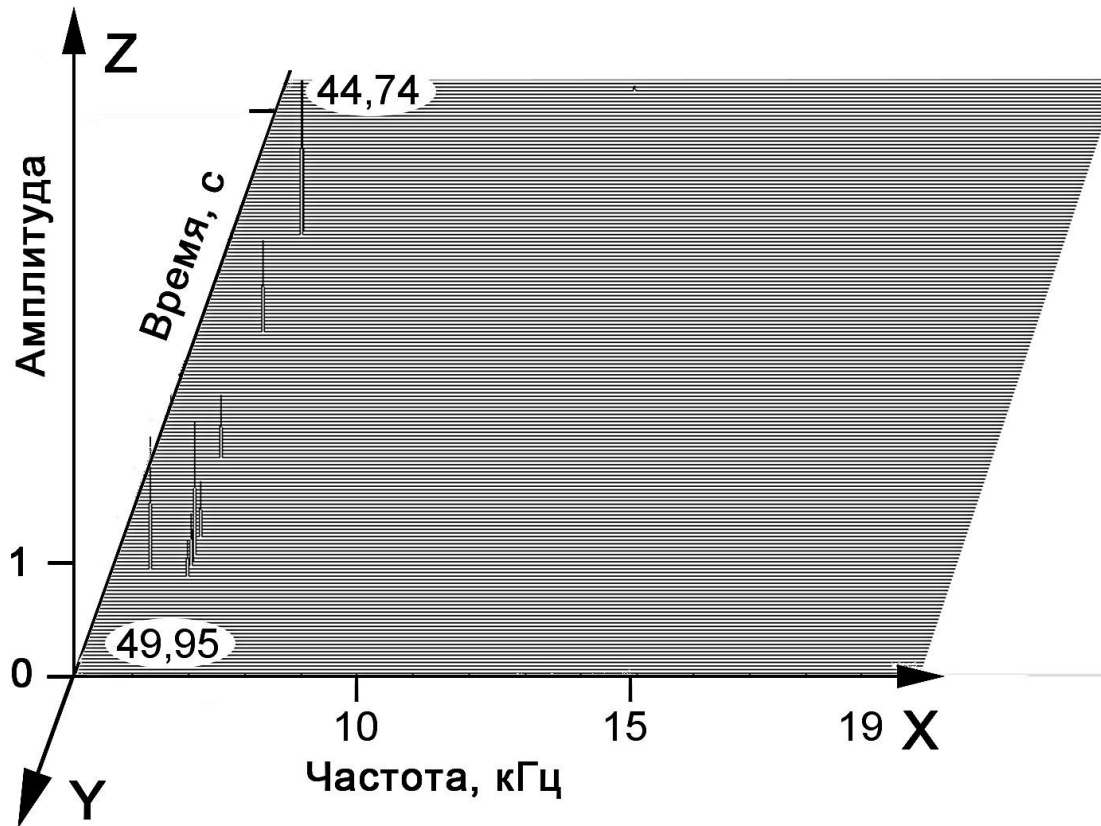
$K = 1,53 \cdot 10^9$  Па. Время релаксации  $\tau = 330 \div 377$  с,  $\eta = G\tau = (2,4 \div 2,7)10^{11}$  Па·с ,

$K_{IC} = 29$  кПа·м<sup>1/2</sup>,  $k = 12,5 \cdot 10^8$  Па/м.

# Твердость и динамический модуль



# Сдвиг снега по подложке



## Заключение

1. Установлена корреляция параметров акустических спектров, генерируемых в снежном покрове при зондировании, с масштабом подвижных элементов в структуре снега и их жесткостью.
2. Разработан экспресс метод акустической стратиграфии снега, основанный на зондировании снежной толщи лавинным щупом и регистрации сигналов АЭ, возникающих при разрушении снежного каркаса в диапазоне частот от 100 Гц до 20 кГц, и сопоставлении их с результатами стратиграфических исследований в шурфе.
3. Количественно оценена структура одновозрастных слоев в снежном покрове.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00469).

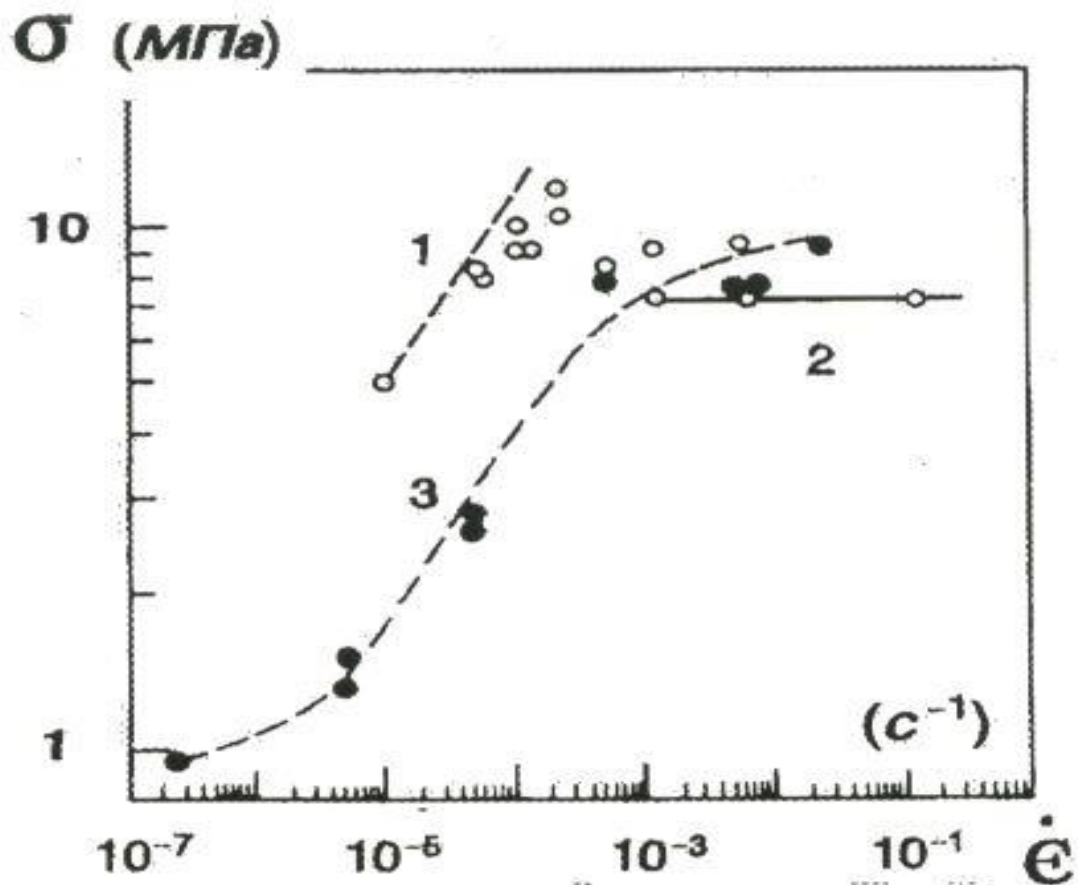
## Акустические характеристики

$$E_{\text{дин}} = \rho V^2 \quad (1)$$

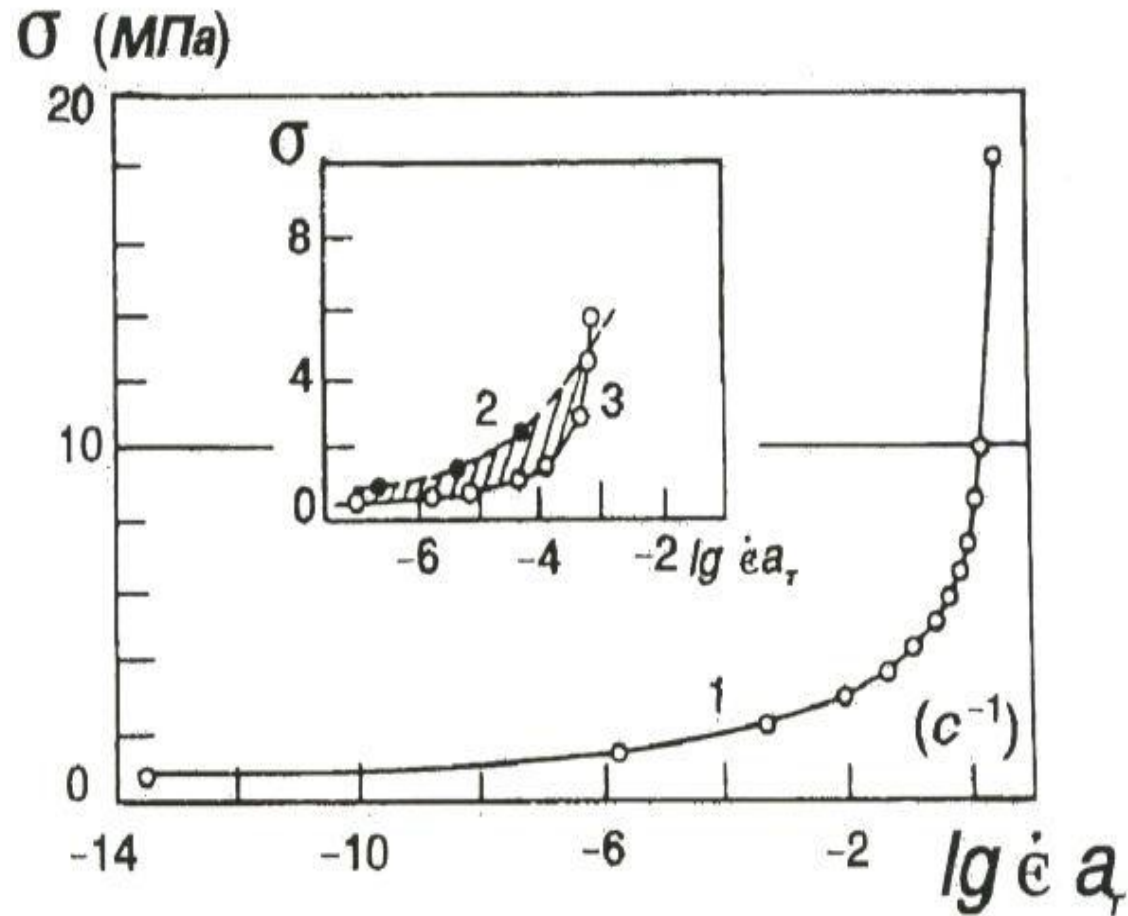
$$\Omega = f(\alpha, V) \quad (2)$$

$$\varepsilon = \sigma / E_{\text{эфф}}, \quad E_{\text{эфф}} = E \exp\left[-\frac{\pi}{4}\Omega\right] \quad (3)$$

# Временное сопротивление от скорости деформации



Обобщенная зависимость  $\sigma(\varepsilon)$



□  
Зависимость  $\sigma(\dot{\epsilon}, \epsilon) \equiv \sigma(t, \epsilon)$

