



КОЛЛЕКТОРСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
(Презентация лекции № 11)
УПРУГИЕ СВОЙСТВА

Лектор: доцент Дахнов А.В.
Кафедра исследования нефтегазовых пластовых систем

УПРУГИЕ СВОЙСТВА

УПРУГОСТЬ-

СВОЙСТВО ВЕЩЕСТВ СОПРОТИВЛЯТЬСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ **ИЗМЕНЕНИЮ ОБЪЕМА И ФОРМЫ** (ТВЕРДЫЕ ТЕЛА) **ИЛИ ТОЛЬКО ОБЪЕМА** (ЖИДКОСТИ И ГАЗЫ), ЧТО ОБУСЛОВЛИВАЕТСЯ ВОЗРАСТАНИЕМ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ВЕЩЕСТВА

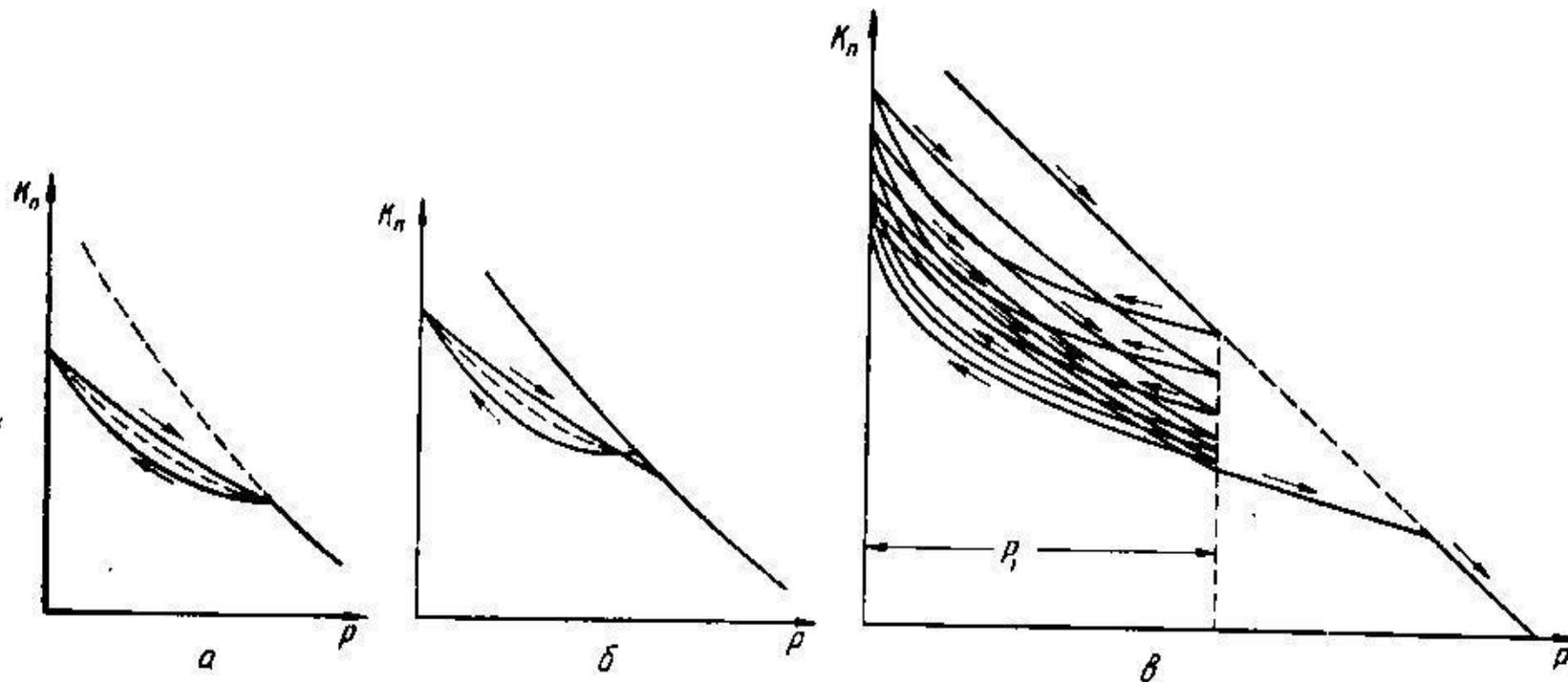
ДЕФОРМАЦИИ ОБРАТИМЫЕ И НЕОБРАТИМЫЕ

ОБРАТИМЫЕ ДЕФОРМАЦИИ – вещество восстанавливает свою форму и объем при снятии напряжений

НЕОБРАТИМЫЕ ДЕФОРМАЦИИ – остаются при превышении предела упругости (остаточные деформации).

Изменение объема твердых тел характеризуются **относительными объемными деформациями**.
Изменение формы – **деформациями сдвига**.

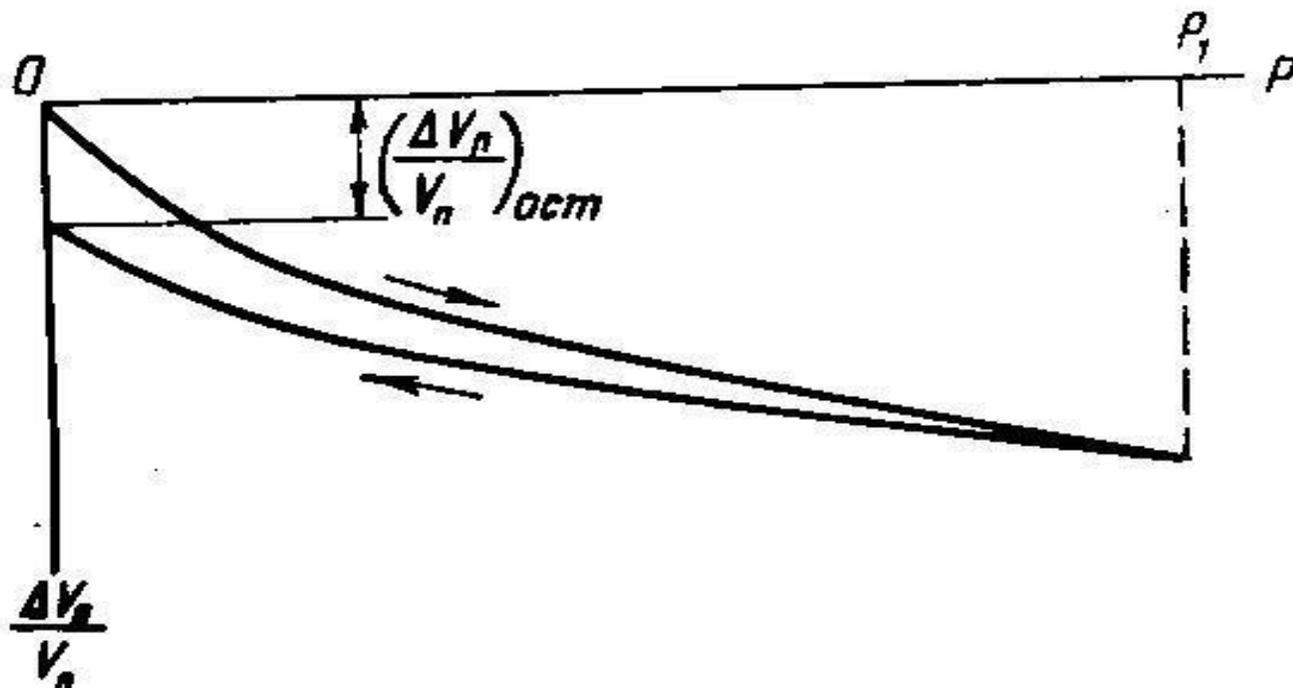
ДЕФОРМАЦИИ ОБРАТИМЫЕ И НЕОБРАТИМЫЕ



Гистерезис повторного сжатия грунтового скелета (по Н. В. Орнатскому).

— замкнутая петля гистерезиса; б — нарастание остаточных деформаций; в — затухание остаточных деформаций при многократном повторении нагрузок.

ДЕФОРМАЦИИ ОБРАТИМЫЕ И НЕОБРАТИМЫЕ



Упругая и остаточная деформация при нагружении и разгрузке породы всесторонним давлением.

ДЕФОРМАЦИИ ОБРАТИМЫЕ И НЕОБРАТИМЫЕ

Основные постоянные:

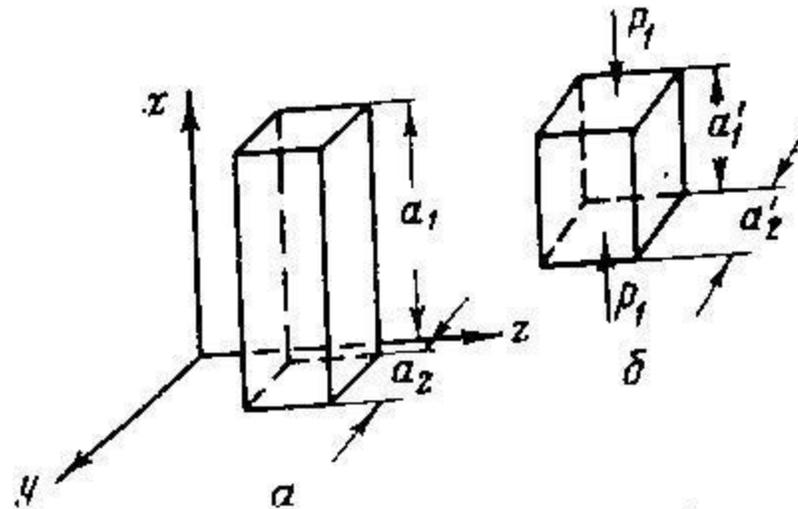
Модуль Юнга E (модуль продольной упругости)

Коэффициент Пуассона ν
(коэффициент поперечного сжатия)

Константы Ламе λ и G (G – модуль сдвига)

Коэффициент объемной сжимаемости β

Модуль Юнга E



Пример простой односторонней деформации — линейного сжатия бруска породы.

a — брусок породы до приложения сжимающего напряжения, действующего по направлению оси x ; $б$ — тот же брусок в результате деформации от напряжения P_1 .

Модуль Юнга E

Модуль линейного удлинения

$$p_1 = E e_1,$$

где p_1 – линейное напряжение (растягивающее или сжимающее);

e_1 – деформация = $\Delta a_1 / a_1$;

$$E = a_1 p_1 / \Delta a_1 [\text{кг/см}^2]$$

Коэффициент Пуассона ν

Коэффициент поперечного сжатия:

Коэффициент пропорциональности между продольными e_1 и поперечными e_2 деформациями.

$$e_2 = \nu e_1$$

$$e_1 = -\Delta a_1 / a_1 \text{ и } e_2 = \Delta a_2 / a_2$$

$$\nu = e_2 / e_1$$

Коэффициенты Ламе λ и G

$$\lambda = \nu E / (1 - \nu)(1 - 2\nu)$$

$$G = E / 2(1 + 2\nu)$$

Коэффициент сжимаемости β

$$\Delta V/V = 3(1-2\nu)/E\rho,$$

ρ – среднее нормальное напряжение

$$= (\rho_x + \rho_y + \rho_z)/3$$

$K = 1/3(1-\nu)$ – модуль всестороннего сжатия (растяжения)

$$\beta = 1/K = -\Delta V/\rho V = 3(1-2\nu)/E \text{ [м}^2\text{/кг]} -$$

коэффициент сжимаемости

Коэффициент сжимаемости β

Коэффициент сжимаемости скелета

$$\beta_{ск} = (-1/V)(dV/dp) = (-1/V_{ск}) (dV_{ск}/dp)$$

Коэффициент сжимаемости порового пространства породы

$$\beta_{п} = - (-1/V_{п}) (dV_{п}/dp)$$

Коэффициент сжимаемости твердой фазы породы

$$\beta_{ТВ} = [-1/(V-V_{п})][d(V-V_{п})/dp] = (-1/V_{ТВ}) (dV_{ТВ}/dp)$$

Коэффициент сжимаемости β

Коэффициент сжимаемости жидкости

$$\beta_{\text{ж}} = (-1/V_{\text{ж}}) (dV_{\text{ж}}/dp_{\text{ж}})$$

$$V = V_{\text{СК}} = V_{\text{П}} + V_{\text{ТВ}}$$

$$\beta_{\text{СК}} = K_{\text{П}} \beta_{\text{П}} + \beta_{\text{ТВ}}$$

Скорость распространения упругих колебаний

Скорость - важнейший кинематический параметр упругих волн.

Под влиянием деформаций в твердых упругих бесконечных средах возникают продольные (P) и поперечные (S) волны.

Продольные волны связаны с деформациями объема среды (сжатия-растяжения).

Поперечные волны связаны с деформацией формы среды.

Скорости продольных и поперечных волн

V_p и $V_s = f$ (коэффициентов и модулей упругости)

$$V_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \delta_m};$$

$$V_p = \sqrt{[E(1-\nu)] / \delta_m [(1+\nu)(1-2\nu)]};$$

$$V_p = \sqrt{(K + 4/3G) / \delta_m}$$

Скорости продольных и поперечных волн

$$V_s = \sqrt{E/2\delta_{\text{п}}(1+\nu)} = \sqrt{[3(1-2\nu)]/[2\beta_{\text{п}}(1+\nu)]} = \\ = \sqrt{G/\delta_{\text{п}}};$$

$$V_p/V_s = \sqrt{2(1-\nu)/(1-2\nu)};$$

Модуль Юнга $E = [\delta_{\text{п}} V_s^2 (3 V_s^2 - 4 V_p^2)]/2(V_p^2 - V_s^2);$

Коэффициент Пуассона $\nu = (V_p^2 - 2 V_s^2)/2(V_p^2 - V_s^2);$

Модуль сдвига $G = \delta_{\text{п}} V_s^2;$

Модуль объемного сжатия $K = 1/\beta = \delta_{\text{п}} (V_p^2 - 4 V_s^2/3)$

Интервальное время ΔT (мкс/м)

$$V = 1/\Delta t \text{ или } \Delta t = 1/V$$

V – основная характеристика в сейсморазведке

Δt – в акустических исследованиях скважин

Уравнение среднего времени

$$\Delta t_{\text{п}} = \Delta t_{\text{ТВ}} (1 - K_{\text{п}}) + \Delta t_{\text{Ж}} K_{\text{п}}$$

$\Delta t_{\text{ТВ}}$ -

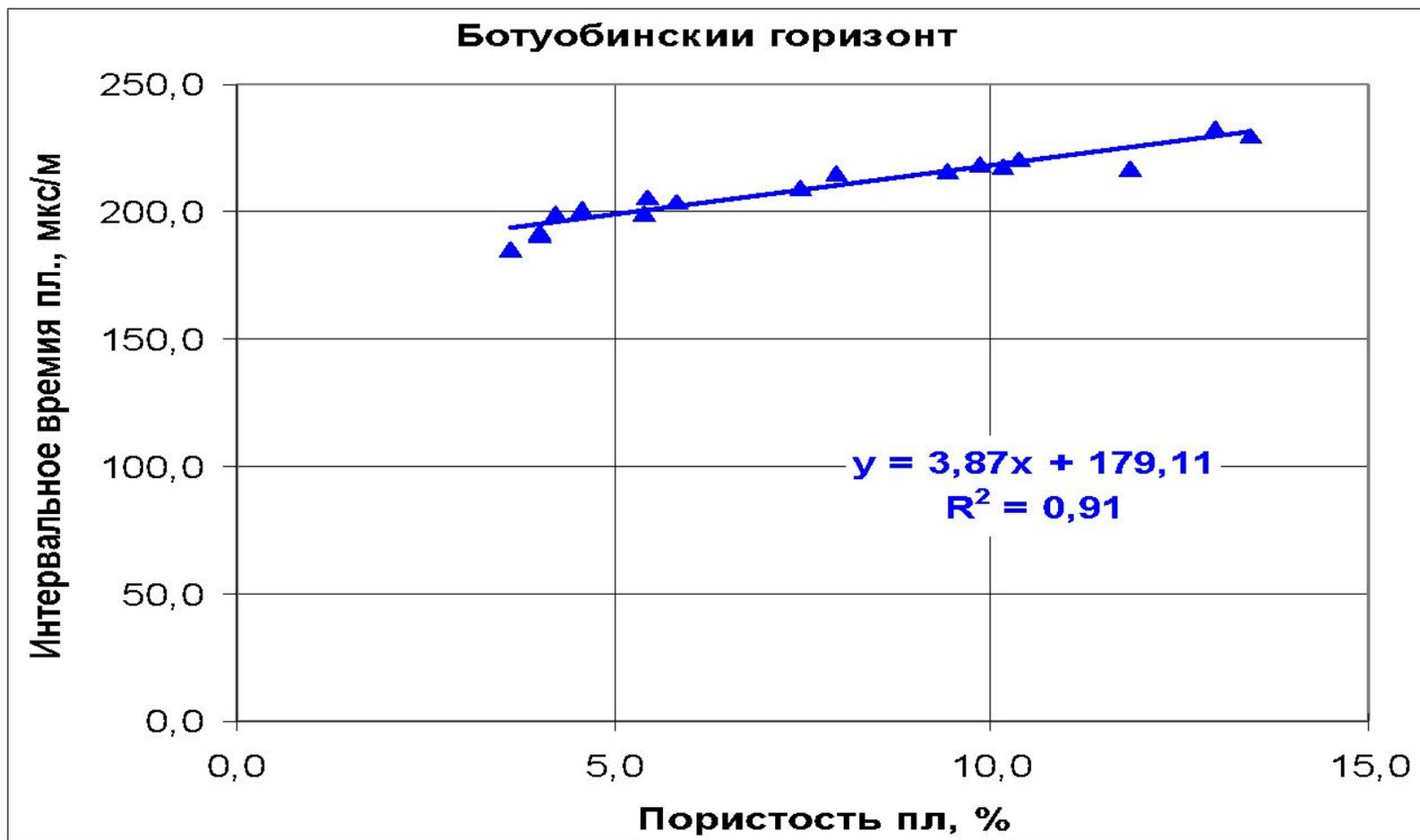
| | |
|-----------------|---------------|
| Кварц – | 164 мкс/м |
| Полевой шпат – | 160 –»- |
| Кальцит - | 155 –»- |
| Доломит - | 142 –»- |
| Глина - | 172 –»- |
| Ангидрит - | 164 –»- |
| Каменная соль - | 208 – 230 –»- |

Уравнение среднего времени

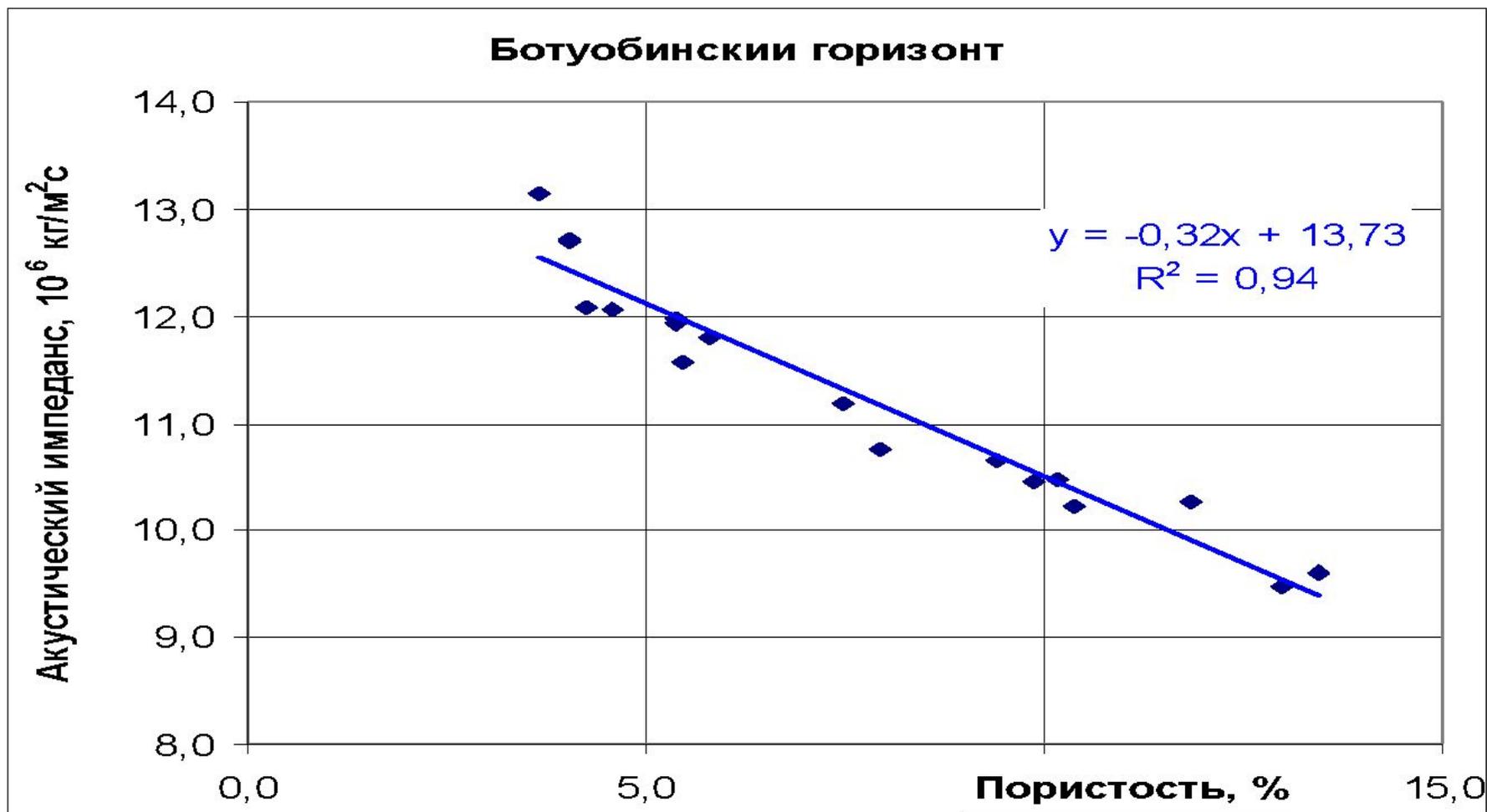
$\Delta t_{\text{ж}}$ - заполнитель порового пространства

| | |
|--------|---|
| Вода | $\sim 667 \text{ мкс/м}$ ($V = 1500 \text{ м/с}$) |
| Нефть | $\sim 769 \text{ мкс/м}$ ($V = 1300 \text{ м/с}$) |
| Воздух | $\sim 3030 \text{ мкс/м}$ ($V = 330 \text{ м/с}$) |
| Метан | $\sim 2040 \text{ мкс/м}$ ($V = 490 \text{ м/с}$) |

Петрофизические связи



Акустическая жесткость (акустический импеданс) $V_p \delta$



Вопросы для самоконтроля

1. Дайте физическое толкование основным упругим константам (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, модуль всестороннего сжатия).
2. От каких факторов зависит скорость упругих волн в минералах, магматических и метаморфических горных породах?
3. В чем особенности распространения упругих волн в пористых осадочных породах?



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

internet: www.vniigaz.ru
intranet: www.vniigaz.gazprom.ru
e-mail: vniigaz@vniigaz.gazprom.ru
телефон: (+7 495) 355-92-06
факс: (+7 495) 399-32-63