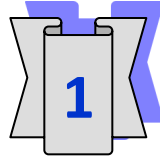


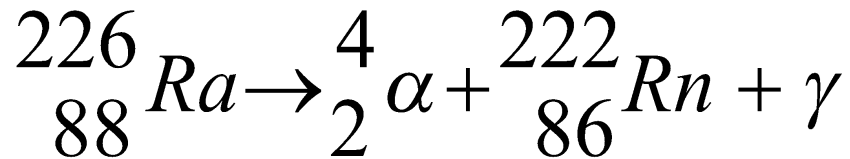
HF

## 2.3. Модель естественной радиоактивности

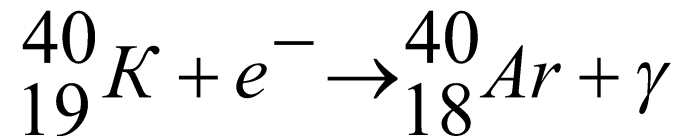
9



**Радиоактивность** - это свойство ядер некоторых элементов самопроизвольно превращаться (распадаться) с изменением состава и энергетического состояния.



Радий превращается в радиоактивный газ радон

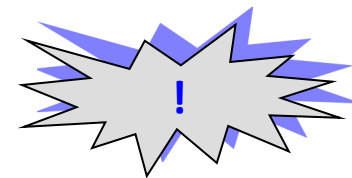


Калий превращается в аргон

В полевых и скважинных условиях измеряется

**гамма-излучение**

как наиболее проникающее.



Гамма-излучение - это жесткое электромагнитное излучение, сопровождающее ядерные превращения.

Энергия  $\gamma$ -излучения индивидуальна для каждого вида ядер и является параметром конкретного ядерного превращения..

Радиоактивность горных пород определяется содержаниями:

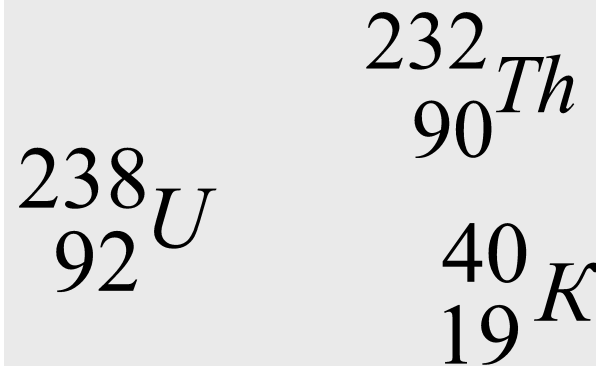
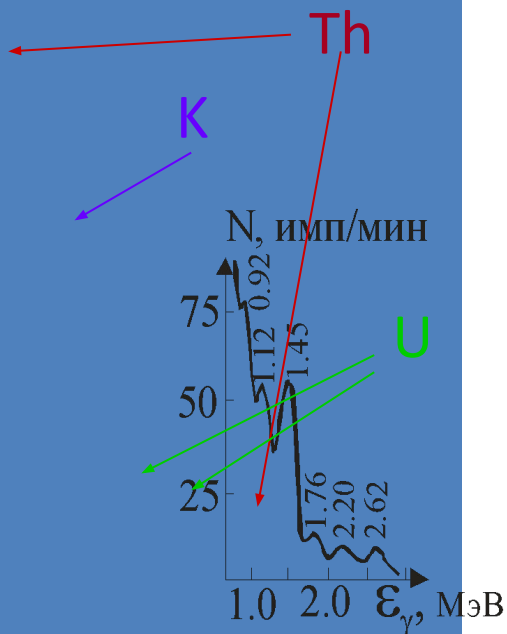


Рис 1



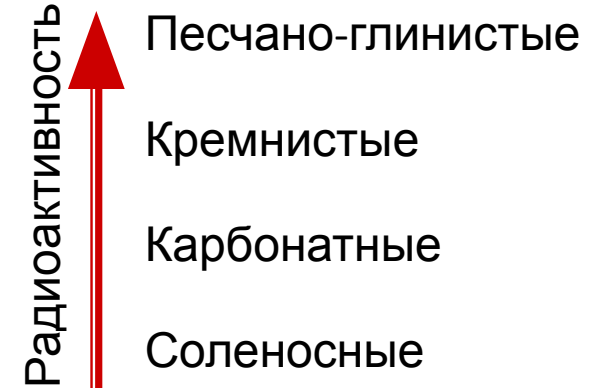
Измеряя интенсивность гамма-излучения в отдельных интервалах спектра определяют содержания U, Th, K в горных породах (гамма-спектрометрия)

Среди осадочных пород наиболее радиоактивны глинистые образования

Содержание радиоактивных элементов в осадочных отложениях

континентальной части земной коры

Группы пород	K, ‰	U, 10 <sup>-4</sup> %	Th, 10 <sup>-4</sup> %	Th/U
Песчано-глинистые	15-2,7	2,4-4,0	9,0-11,5	2,9-3,7
Кремнистые	0,3-1,1	1,7-2,8	2,2-6,2	1,2-2,2
Карбонатные	0,3-0,8	1,6-7,8	1,8-11,9	0,8-1,5
Соленосные	0,02-10·n	0,9-1,0	1,0	1,0-1,1



6\_7

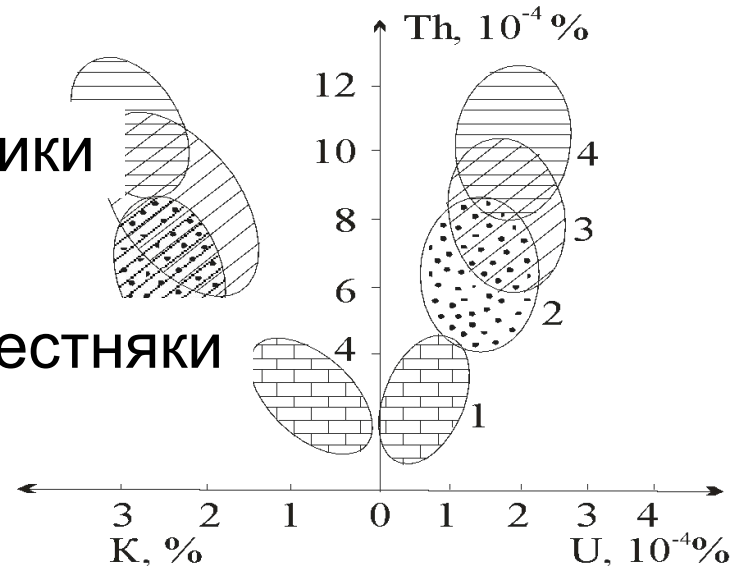
## 4. Глины

## 3. Алевролиты

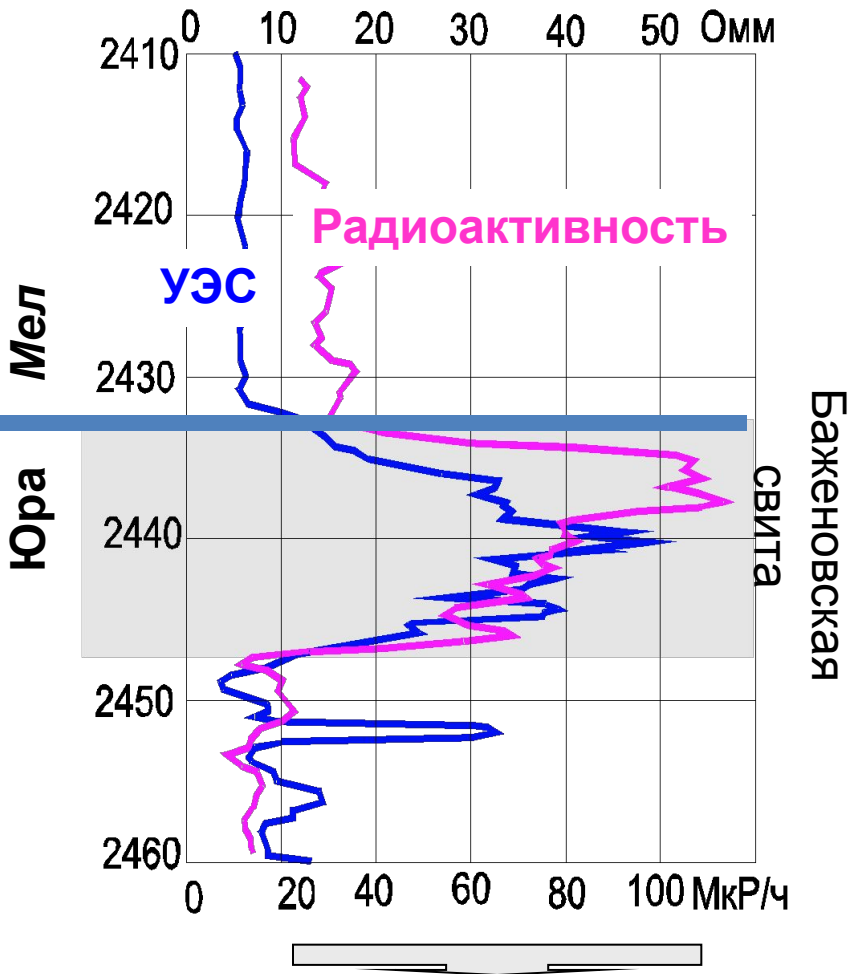
## 2. Песчаники

## 1. Известняки

Радиоактивность сеноманских отложений Амударьинского нефтегазоносного бассейна



# Результаты гамма-каротажа (ГК) по разрезу скважины 208 Мыльджинского месторождения



Наименее радиоактивные  
Образования:

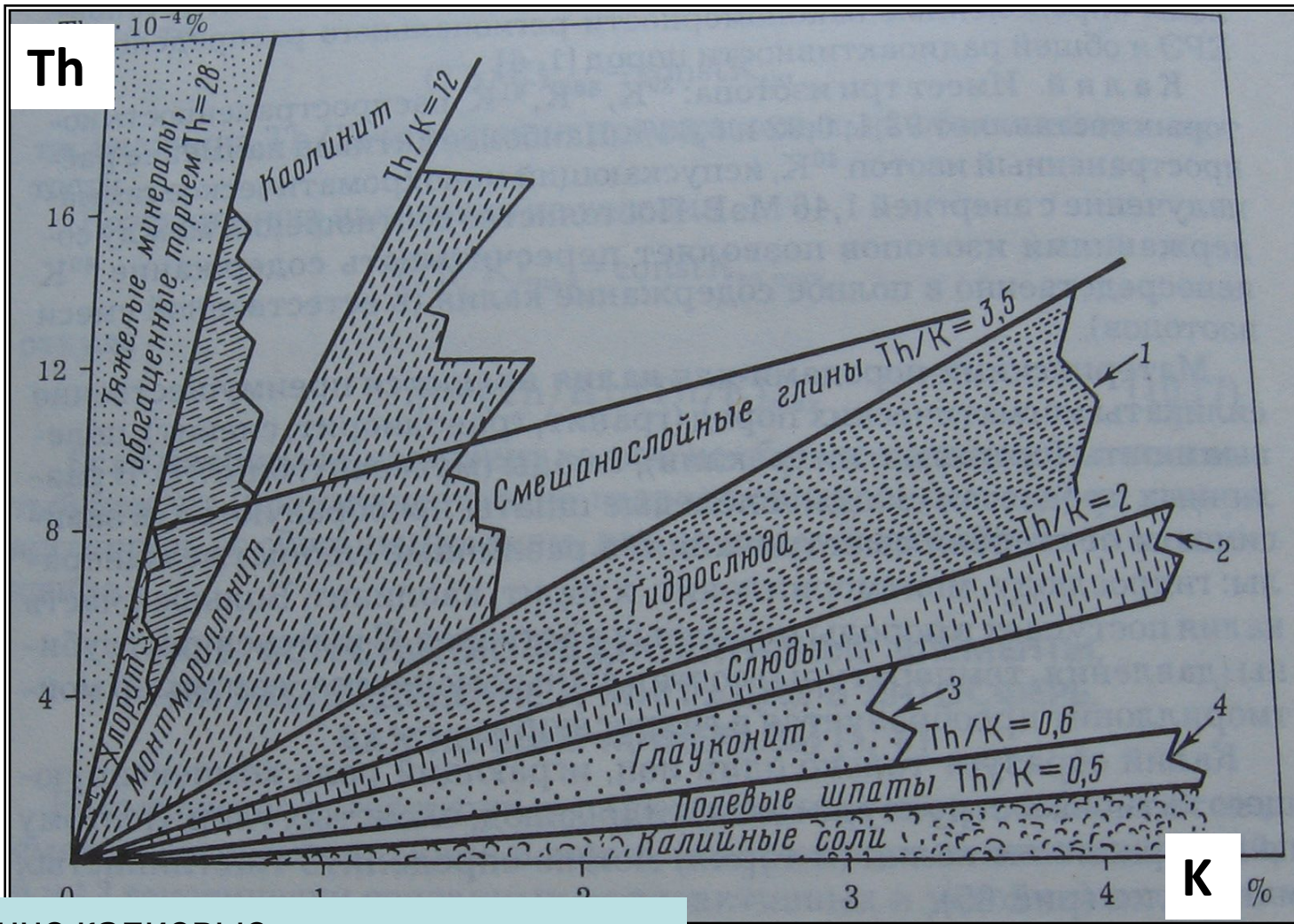
- угли
- карбонаты
- песчаники-коллекторы

Наиболее радиоактивные  
образования:

- битуминозные аргиллиты баженовской свиты
- глины

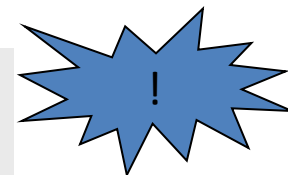
Высокая радиоактивность глин обусловлена повышенными содержаниями в них U, Th и K (в адсорбированном состоянии)

Преимущественно ториевые:  
Каолинит, Монтмориллонит,  
Смешаннослойные



Преимущественно калиевые:  
Гидрослюда, Слюда, глауконит, полевые шпаты

Для оценки типа глин, а следовательно их влияния на ФЕС коллектора, необходимы спектрометрические исследования



# Модель глинистости коллектора

**Условия применения естественной радиоактивности для оценки глинистости терригенных пород:**

- отсутствие примесей глауконитовых, монацитовых и других высокорadioактивных песков, песчаников и конгломератов;
- отсутствуют полимиктовые пески и песчаники, псамитовая фракция которых обогащена калием.

**Теоретическая модель глинистости** ►

$$\Delta J = 1,9 \cdot \left( \frac{C_{гл}}{C_{гл.макс}} \right) - 0,9 \cdot \left( \frac{C_{гл}}{C_{гл.макс}} \right)^2$$

$\Delta J = (J - J_{мин}) / (J_{макс} - J_{мин})$  – двойной разностный параметр показаний гамма-каротажа

$C_{гл.макс}$  – максимальная глинистость пласта глин, **используемого при получении относительных показаний  $\Delta J$ .**

**Используемое уравнение** ►

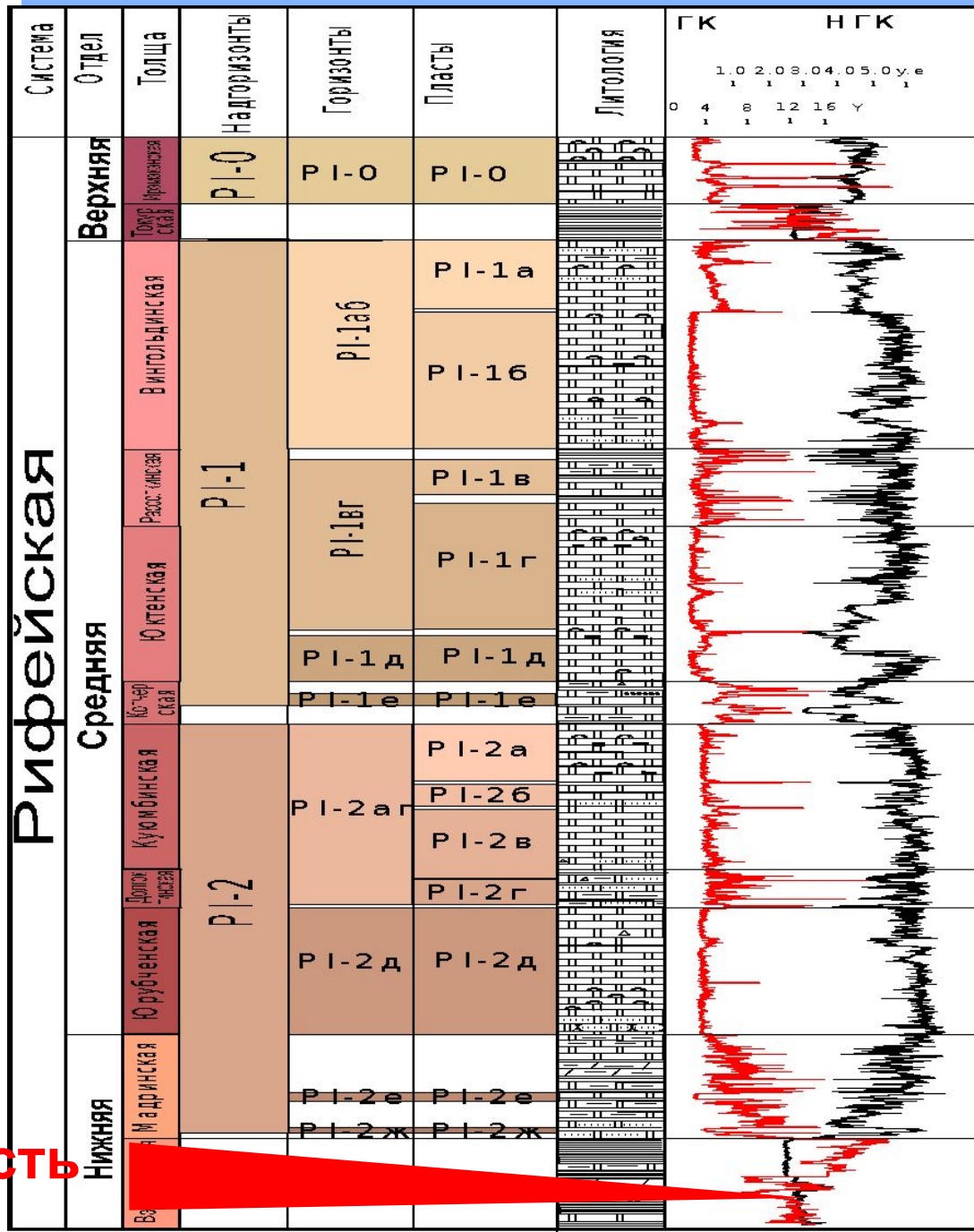
$$\Delta J = 1,9 \cdot K_{гл} - 0,9 \cdot K_{гл}^2$$

# Юрубченское нефтяное месторождение

$$\Delta J_{\gamma} = 0,004 + 0,0019 \text{ Сгл}$$

$$\text{Сгл} = 51,5 \Delta J_{\gamma} - 0,20$$

**Естественная  
радиоактивность**

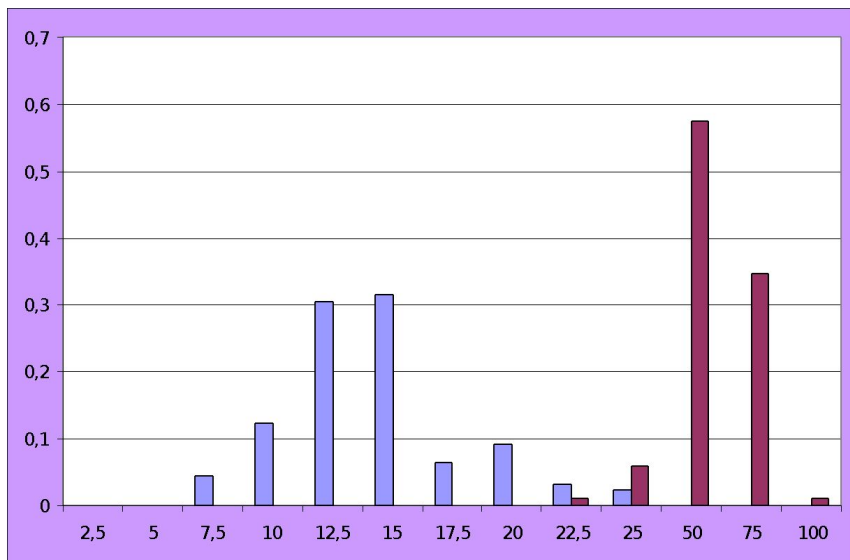




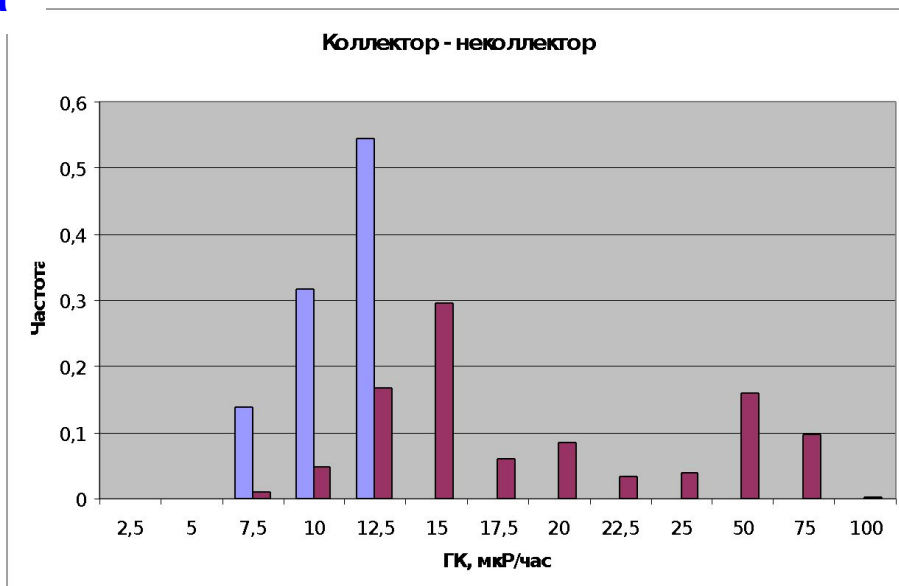
## Основные задачи метода ГК

- Литологическое расчленение разреза
- Выделение коллектора
- Оценка пористости и глинистости коллектора

**Баженовская** – **остальная часть разреза**



**Коллектор** - **неколлектор**



Радиоактивность (ГК), мкР/час

HF

## 2.4. Модели нейтронной пористости

9

# Нейтронные характеристики горных пород

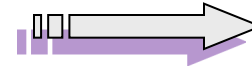
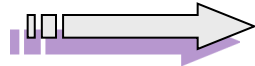
Взаимодействие нейтронов с горными породами зависит **от энергии нейтронов и от свойств самой породы**

## Нейтроны

Быстрые  
 $E_n > 0.1 \text{ МэВ}$

Промежуточные  
 $1 \text{ эВ} < E_n < 0.1 \text{ МэВ}$

Тепловые  
 $E_n < 1 \text{ эВ}$



**Замедление**

Процессы взаимодействия нейтронов с ядрами атомов горных пород:

А) рассеяние – изменение направления движения и потеря энергии

(замедление)

Б) поглощение (радиационный захват) тепловых нейтронов

**Упругое рассеяние** – аналогично столкновению двух идеально упругих шариков,

при котором ядру передается часть энергии нейтрона

Параметр замедления  $\xi$  – логарифмическая потеря энергии на одно соударение

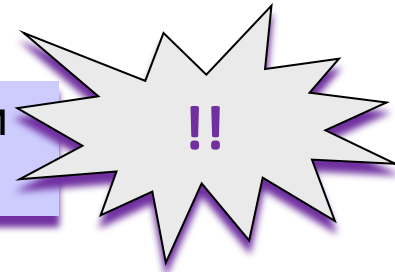
При изотропном рассеянии:

$$\xi = \ln E_0 - \ln E = 1 + \alpha \cdot \frac{\ln \alpha}{1 - \alpha}$$

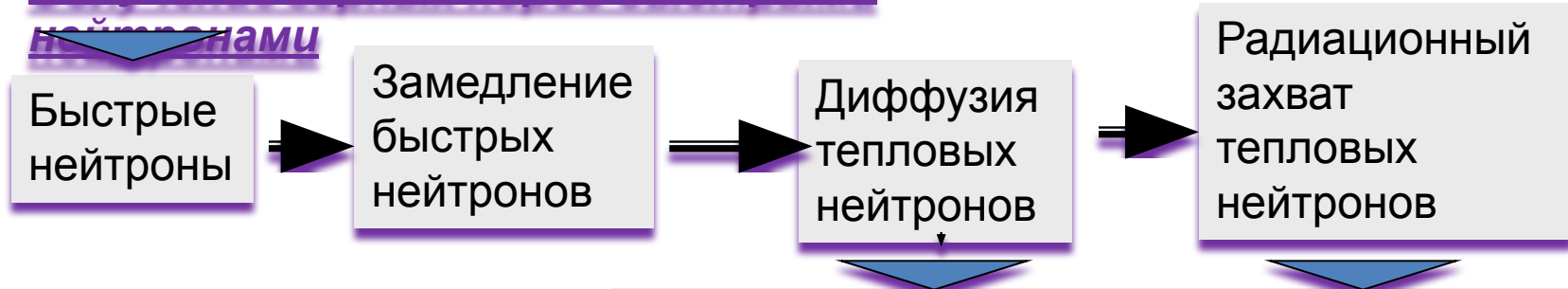
$$\alpha = \frac{(M - 1)^2}{(M + 1)^2}$$

$E_0, E$  – энергия нейтрона до и после соударения с ядром массы  $M$ .

Максимальная потеря энергии – при взаимодействии нейтрона с ядром **водорода**, равным ему по массе



## Облучение горных пород быстрыми нейтронами



Измерения плотности тепловых нейтронов или интенсивности захватного гамма-излучения

# Нейтронные характеристики

## Замедляющие:

$L_s$  – длина замедления

## Поглощающие:

$L_d$  – длина диффузии;  
 $\tau$  - время жизни теплового нейтрона

$L_s$  – среднее квадратичное расстояние от начала движения в породе быстрого нейтрона до точки его замедления до тепловой энергии.

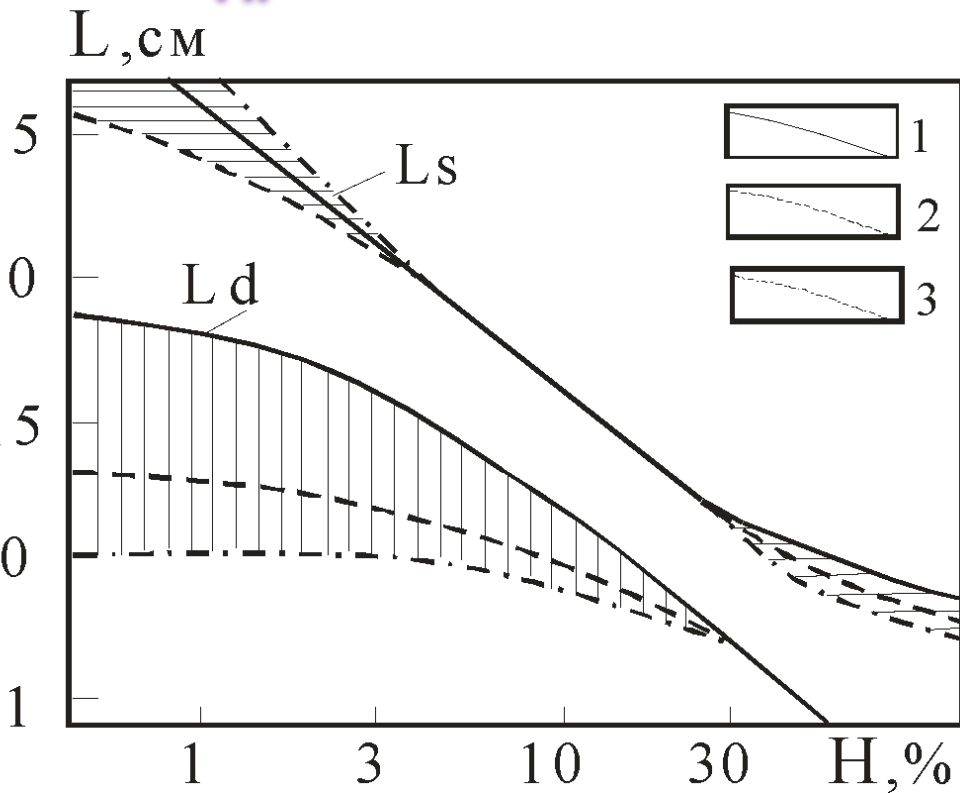
**Основным замедлителем в горных породах является водород**

$L_d$  – среднее квадратичное расстояние, которое проходит нейтрон от момента замедления до точки поглощения.

$\tau$  - Отрезок времени между моментом, когда быстрый нейтрон замедлился до теплового, и моментом поглощения теплового нейтрона ядром.

**Основным поглотителем нейтронов в коллекторах является**





Зависимость нейтронных характеристик горных пород от содержанием в них **Водорода**

- 1 – кварцевый песчаник
- 2 – известняк
- 3 – ангидрид

$$E_n = 1.46 \text{ эВ}$$

Сравнительные данные о нейтронных параметрах минералов различной степени аномальности

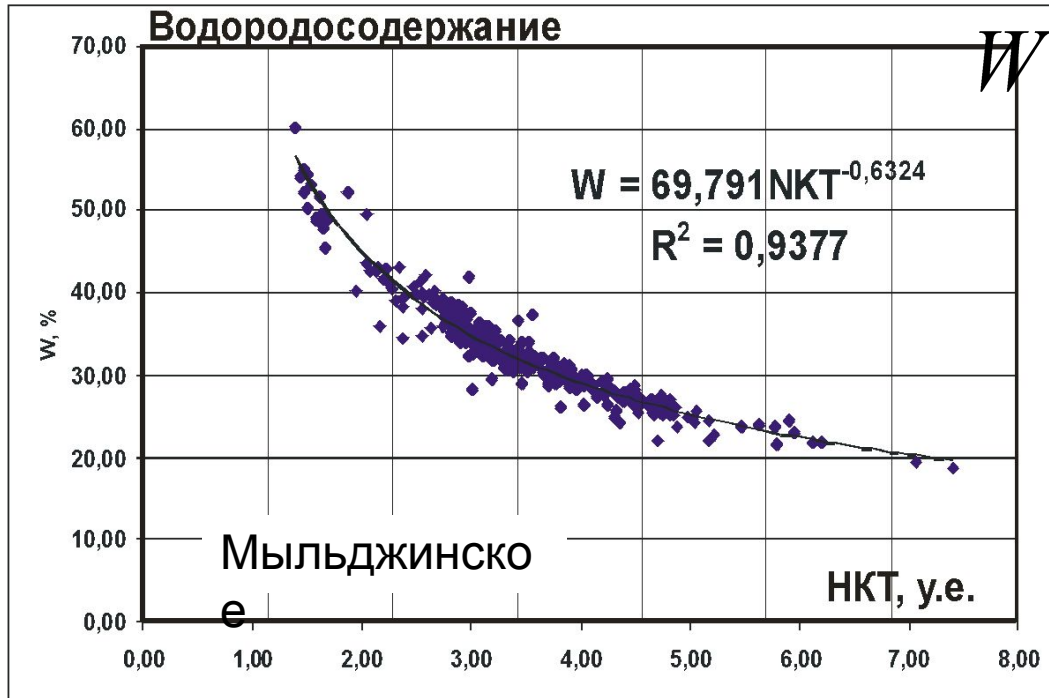
Минералы	$L_s$ , см	$\tau$ , мкс	Аномальные элементы в минерале
<i>Аномально поглощающие минералы</i>			
Галит	46,7	6	Cl
Борацит	15,2	0,19	B
Кобальтин	32,3	5	Co
Киноварь	67,8	0,6	Hg
<i>Минералы с аномальными <math>L_s</math> и <math>\tau</math></i>			
Ашарит	8,8	0,32	H, B
Гидроборацит	6,5	0,32	H, B

Нейтронные параметры природных сред

Природная среда	$L_d$ , см	$\tau$ , $10^{-4}$ с
Вода	2,015	2,07
Глина (40% влажности)	2,28	1,75
Песок (25% влажности)	4,04	3,2
Глина сухая	18,7	9,22
Песок сухой	23,85	14,5

# Модели нейтронной пористости

Содержание водорода в горных породах характеризуют: **водородным индексом** (водородосодержанием)  $W$  – отношение объемного содержания водорода в породе к его содержанию в пресной воде.



$$W = 69,791 \cdot NKT^{-0,6324}$$

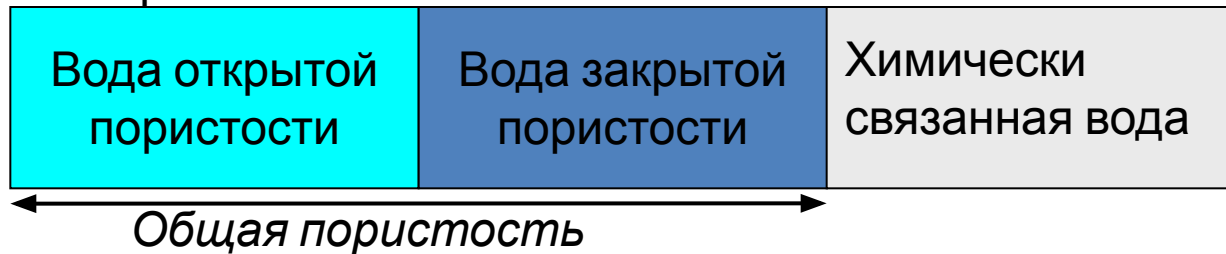
Эталонная зависимость для определения водородосодержания по данным нейтронного каротажа.

$W$  – можно рассматривать как объемное водосодержание или как объемную влажность или как общую пористость (?)

*НКТ – показания нейтронного каротажа по тепловым нейтронам*

**Коэффициент нейтронной пористости  $K_{п.н} (W)$**  – показания нейтронного каротажа в масштабе пористости, исправленное за отличие по плотности

и литологии **исследуемого** пласта от **опорного**, по которому проводится **водородосодержание по нейтронному каротажу** эталонирование.



Суммарное водородосодержание коллектора (нейтронная пористость):

$$W = \omega_{ф} K_{п(общ)} + \omega_{гл} \cdot K_{гл} + \omega_{ск} \cdot (1 - K_{п(общ)} - K_{гл})$$

$\omega_{ф}$   $\omega_{гл}$   $\omega_{ск}$  – водородосодержание флюида, глин и скелета породы.

Для чистого неглинистого водонасыщенного коллектора:

$$W = K_{п(общ)}$$





НГ

Водородосодержание **газа** зависит от

плотности:

$$\omega = \left( \frac{9x}{12+x} \right) \cdot \sigma \quad X=4-2,5\sigma$$

## Вода и нефть

Практически не различаются ► **по замедляющим свойствам (H)**

Различаются ► **по поглощающим свойствам (CI)**

## Модель нейтронной пористости

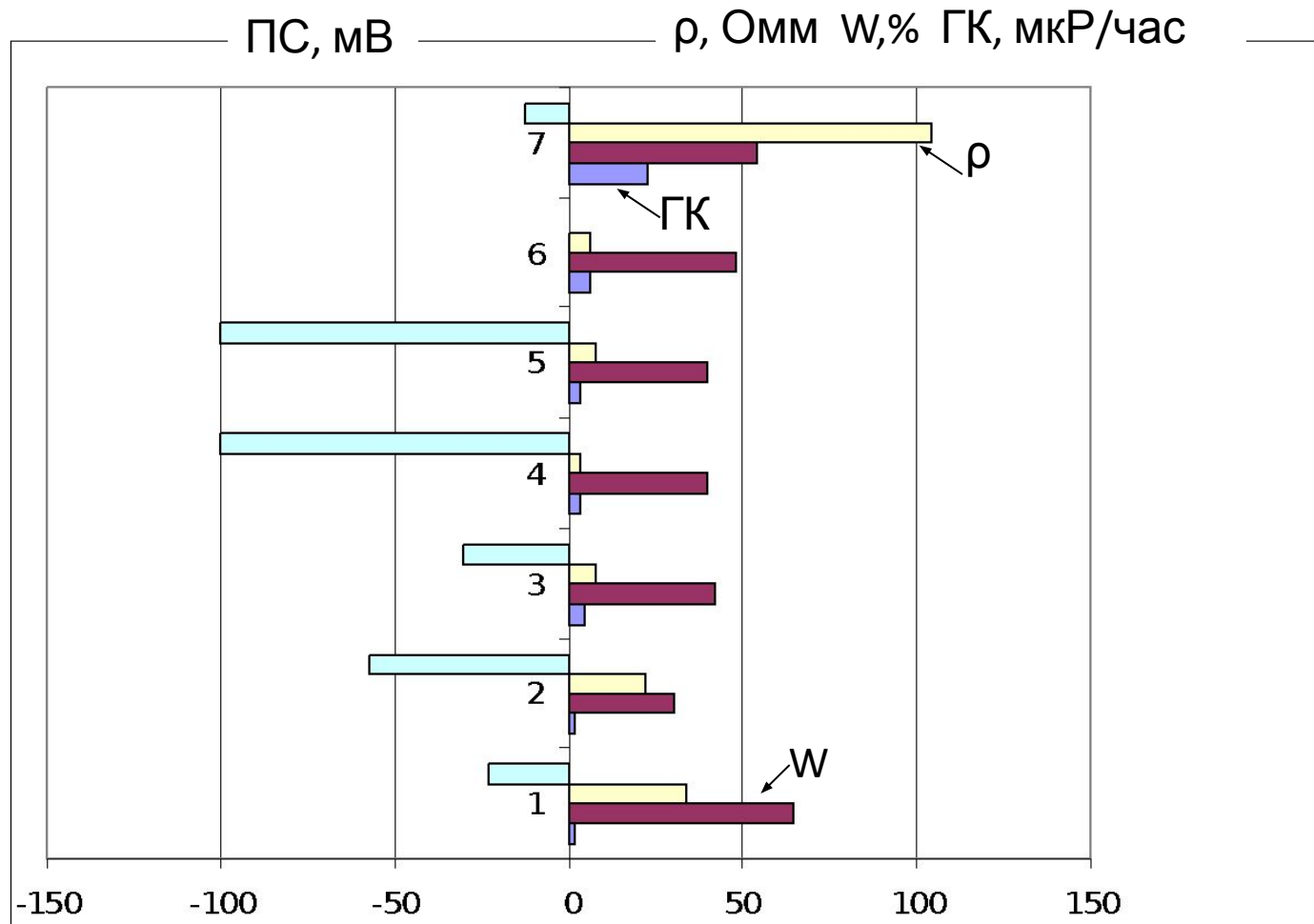
$$W = Kn(\text{общ}) + (1 - Kn(\text{общ})) \cdot \omega_{тв}$$

$W$  – измеренное водородосодержание коллектора  
(твёрдой части)

# Петрофизическая модель продуктивной части разреза

(Обобщенные данные по разрезу Лантынь-Яхского месторождения)

- 7. Баженовская
- 6. Глины
- Песчаник:
- 5. Нефтеносный
- 4. Водоносный
- 3. Алевролит
- 2. карбонатиз. песчаник
- 1. уголь



## Задачи, решаемые методом НКТ



Литологическое расчленение разреза

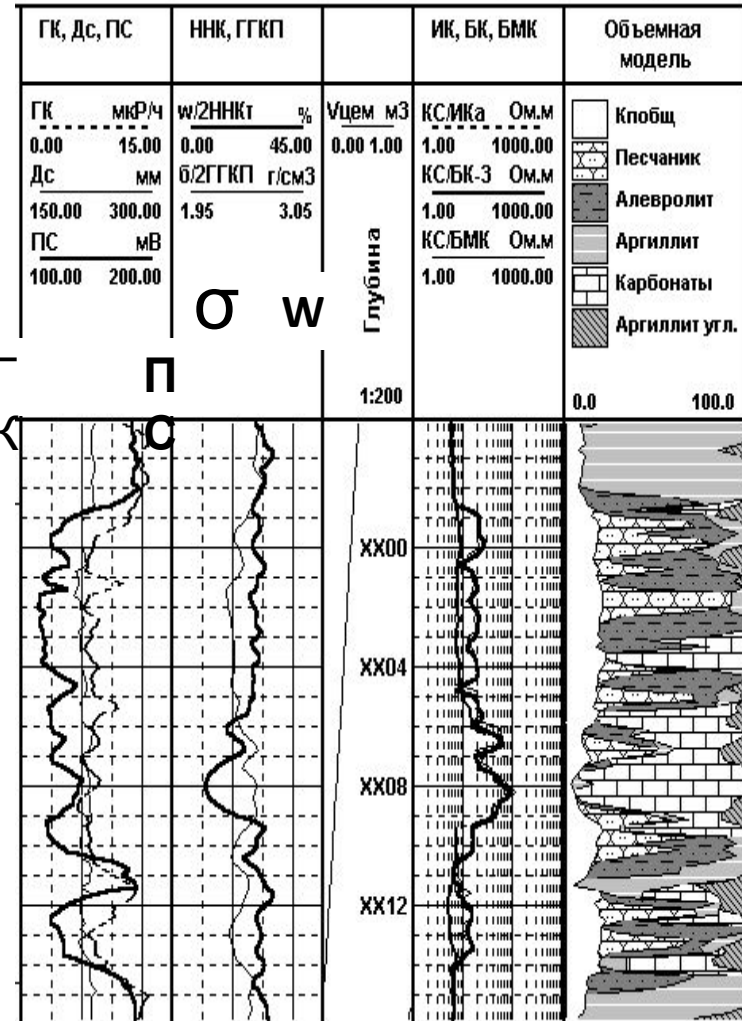


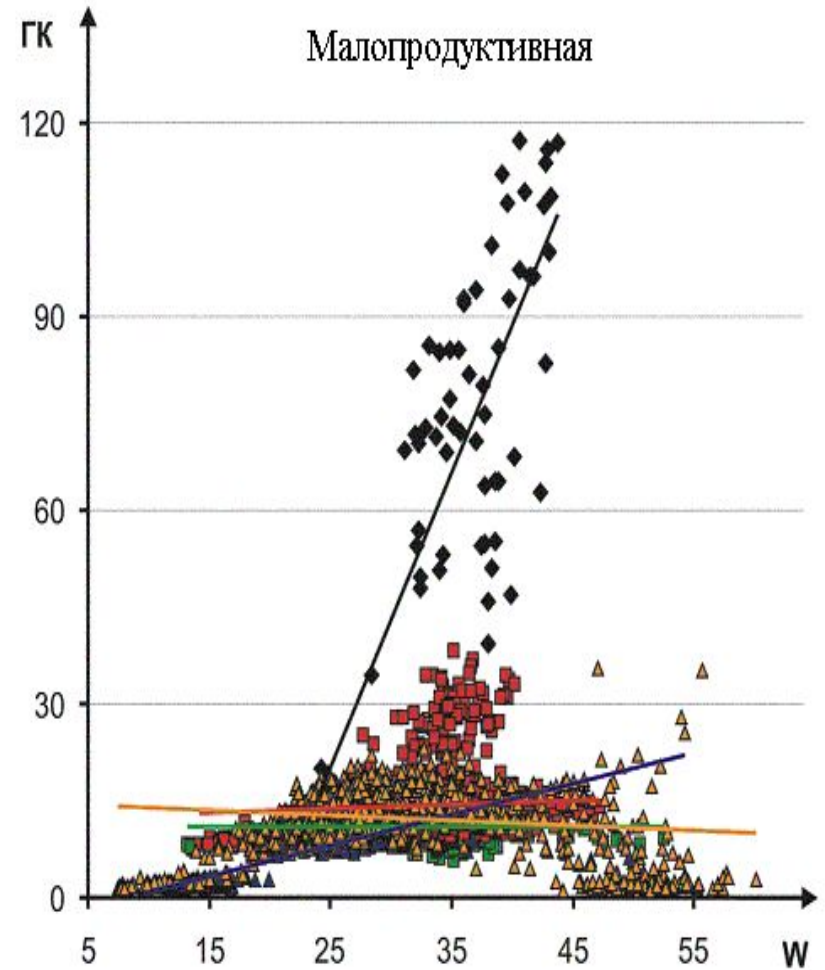
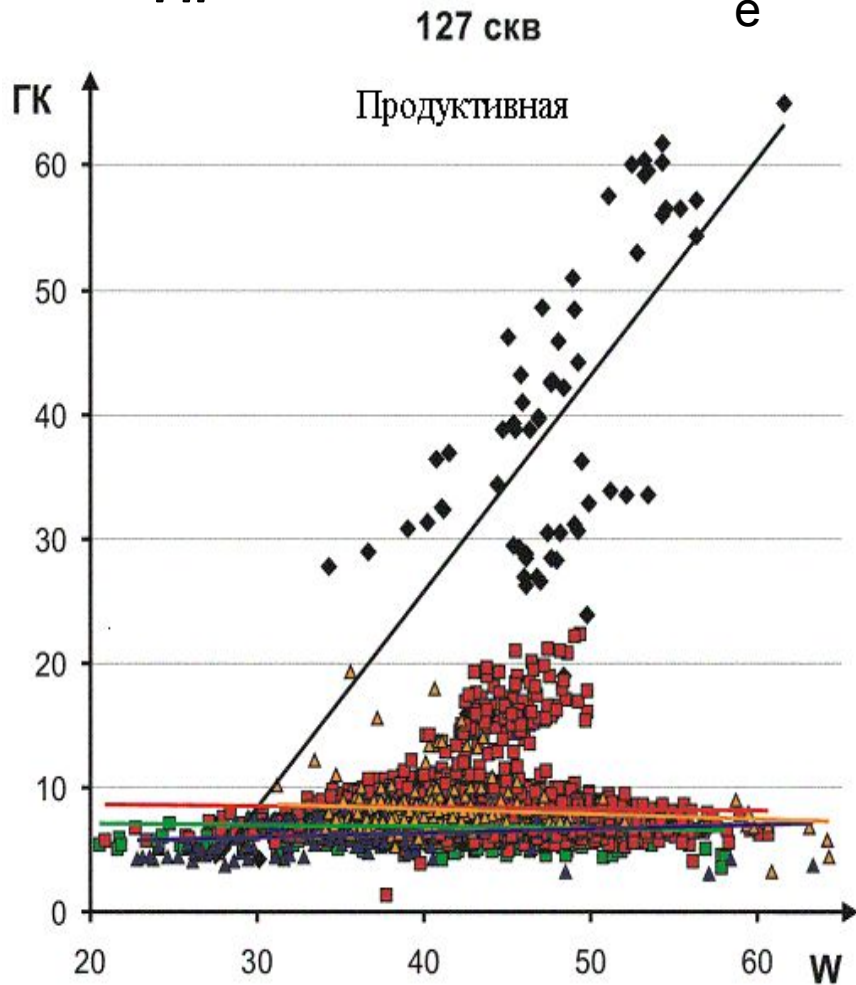
Оценка коэффициента пористости



Оценка газонасыщенности коллектора

(Оценка нефтенасыщенности коллектора  
- в благоприятных условиях)





- Разрез продуктивной скважины отличается повышенным водородосодержанием, пониженной радиоактивностью.



HF

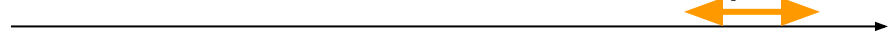
## 2.5. Акустическая пористость

1

# Упругие колебания - процесс распространения знакопеременных деформаций

Упругие волны:

Продольные (P-волны) – волны сжатия-растяжения



Поперечные (S-волны) – волны сдвига



$$V_p = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu)}{\sigma \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}}$$

Скорости распространения  
упругих волн

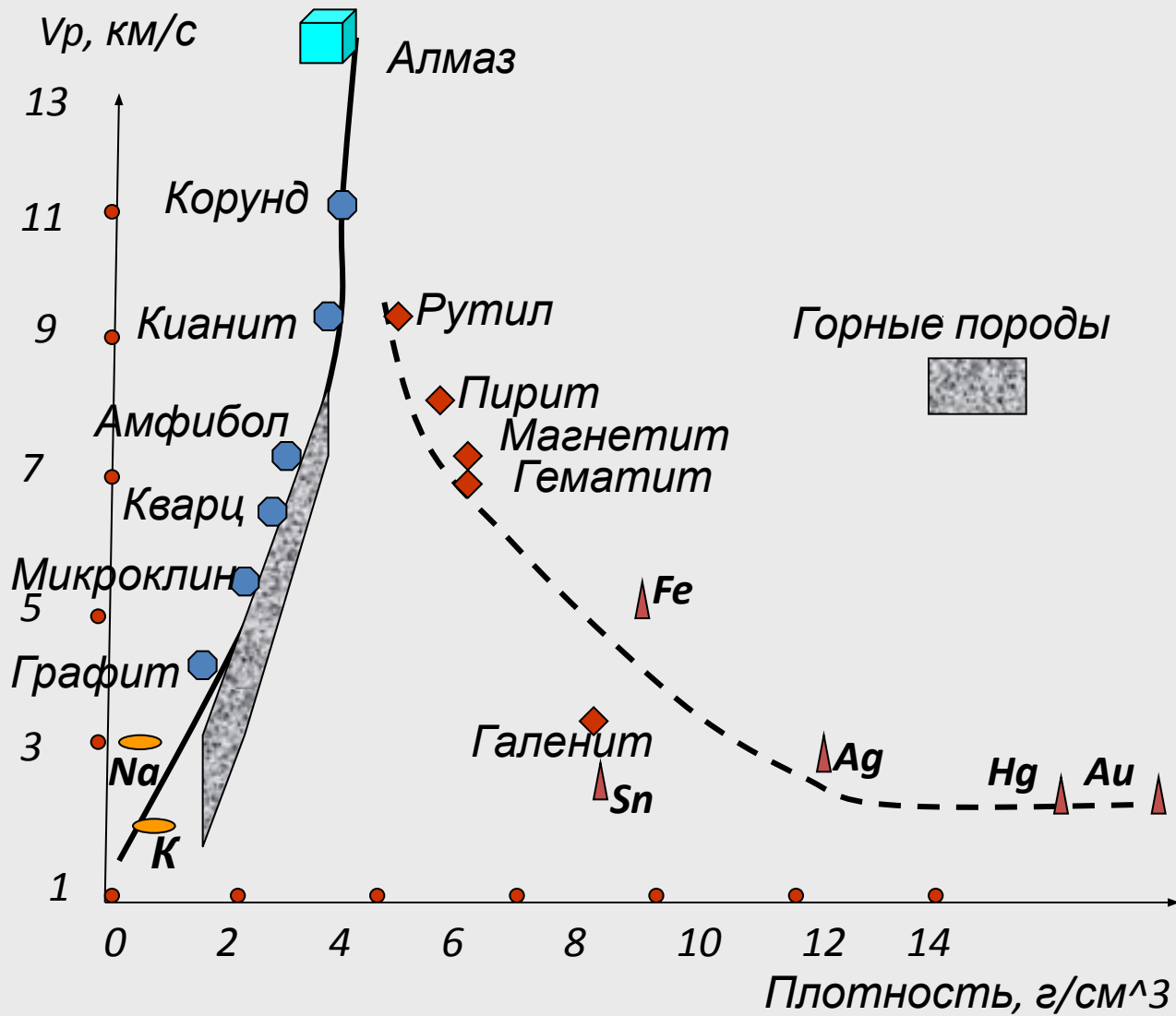
$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2\sigma(1 + \mu)}}$$

$V \cdot \sigma$  – **акустическая жесткость**



Условие  
отражения?  
Между скоростью и плотностью прямые или обратные  
соотношения?

# Соотношение между плотностью и скоростью упругих волн

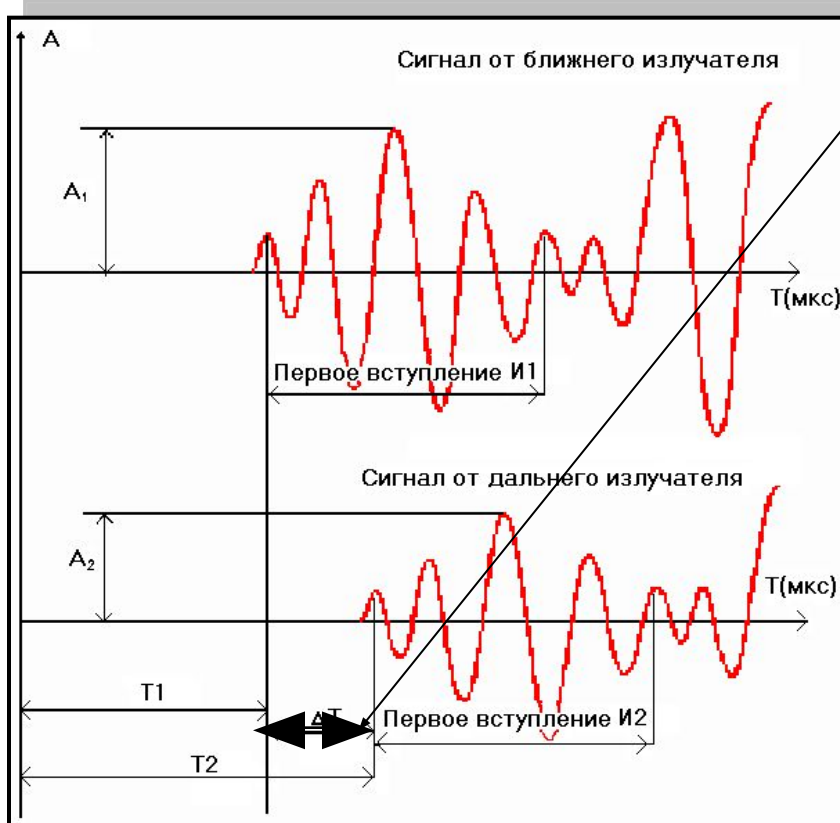


# Модели акустической пористости

Упругие свойства горных пород в скважинах изучаются с помощью **акустического каротажа**.

Измеряемый параметр – **интервальное время  $\Delta T$**  – показывает, сколько времени пробегает волна расстояние в 1 метр.

$$\Delta T = \frac{1}{V_p}$$



Месторождения Томской области (пластовые давления)

	$\Delta T$ , мкс/м
Кальцит	158
Непористый песчаник	172
Глина	253
<b>Вода</b>	<b>610</b>
<b>Нефть</b>	<b>670</b>
<b>Газ</b>	<b>790</b>

Упругость



Уравнение среднего времени:

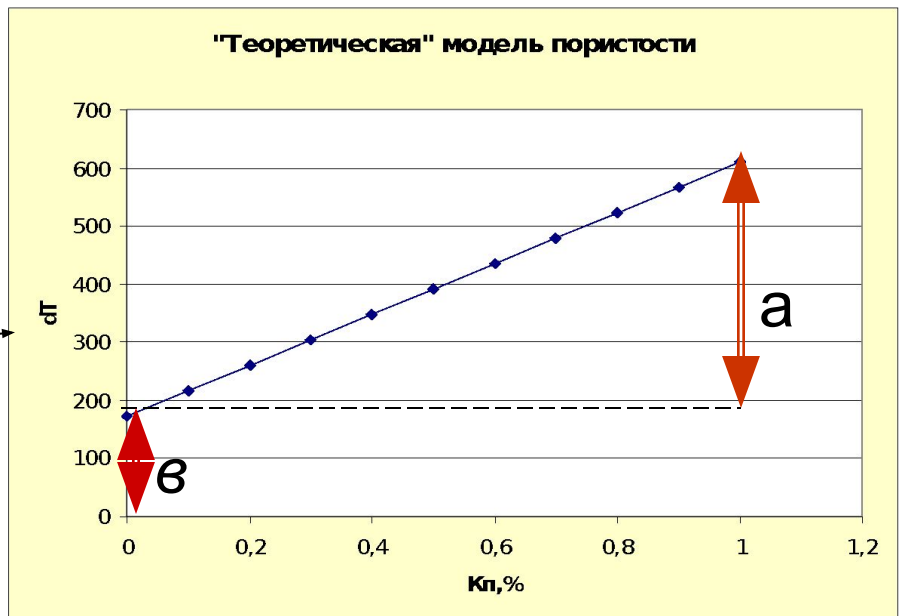
$$\Delta T = \Delta T\phi \cdot Kn + (1 - Kn) \cdot \Delta Tmв = (\Delta T\phi - \Delta Tmв) \cdot Kn + \Delta T m$$

Статистическая модель

$$\Delta T = a \cdot Kn + в$$

«Теоретическая» модель  
пласта Ю1 Томской области

$$\Delta T = 438Kn + 172$$



**а.** Модель двухфазной среды  
(традиционная)

$$a = \Delta T\phi - \Delta Tmв$$

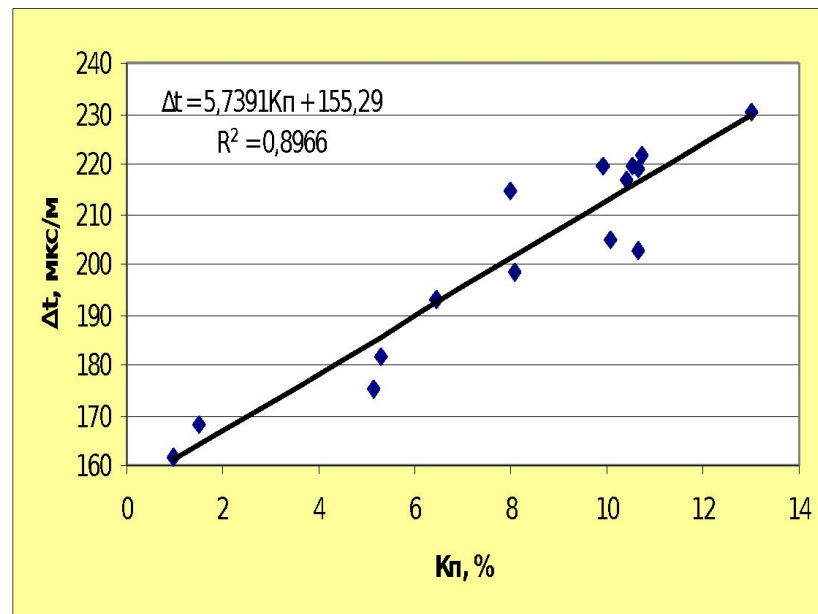
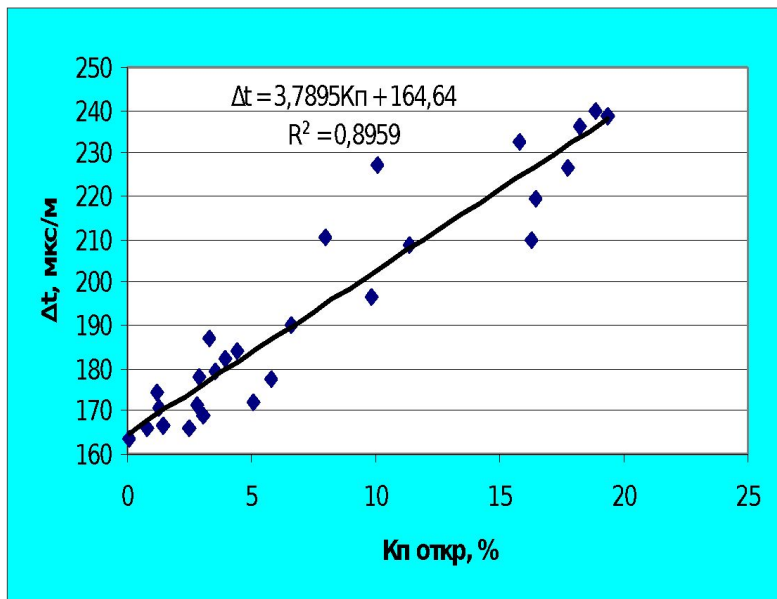
$$в = \Delta Tmв$$

$$\Delta T(\text{доломит}) = 143 \text{ мкс/м}$$

Акустические модели пористости Собинского месторождения  
(Красноярский край)

Песчаник Б-VIII  
(доломита < 7%)

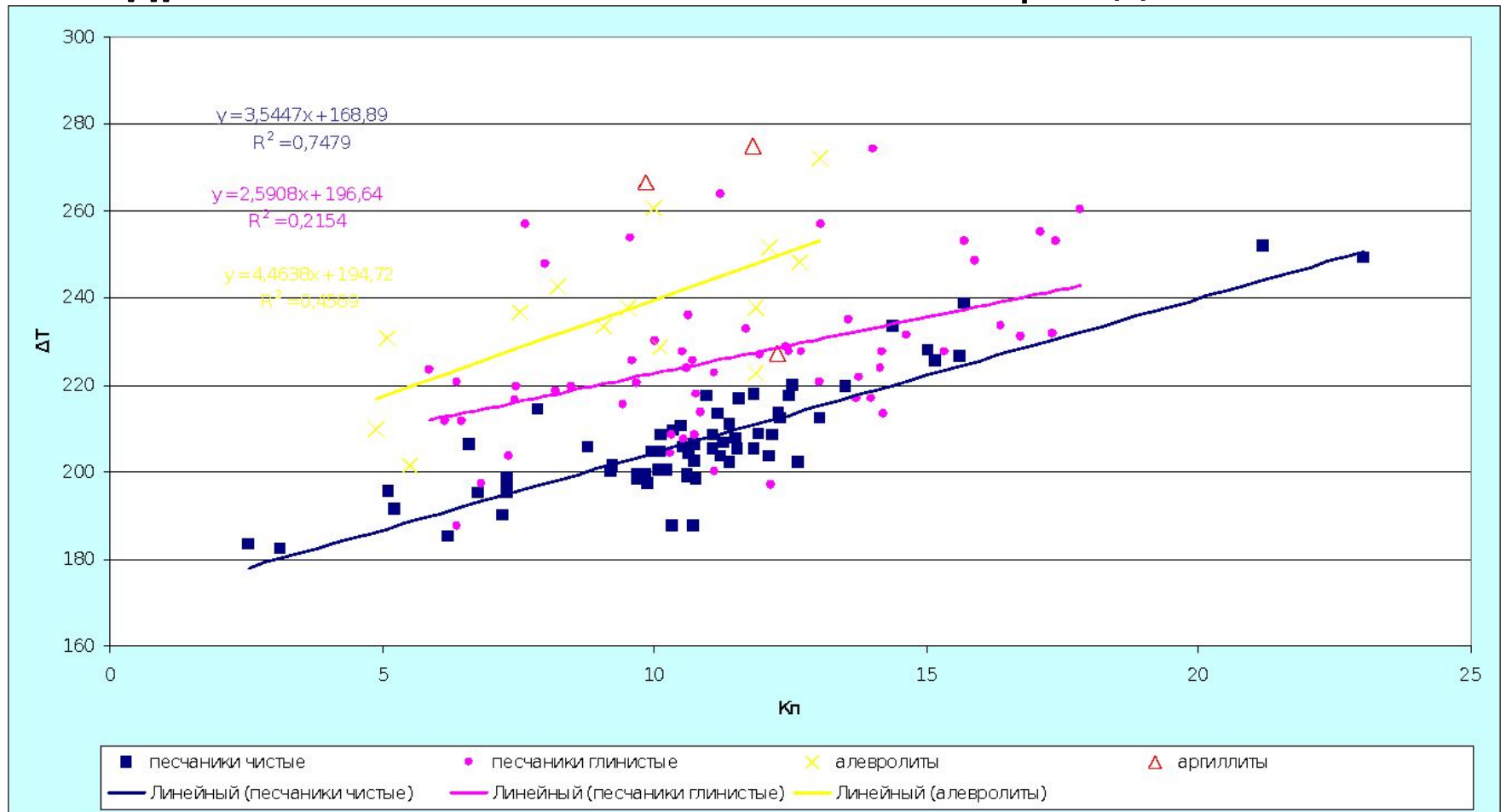
Песчаник палеокарста  
(доломита < 10%)



$$\Delta T = 3.7895K_p + 164.64$$

$$\Delta T = 5.7391K_p + 155.29$$

# Собинское месторождение



**Увеличение глинистости влечёт за собой  
уменьшение тесноты связи (ухудшение точности  
модели)**



**Модель трехфазной среды** (В.Н.Дахнова)

$$\Delta T = \Delta T_{п} + K_{п}^m \cdot (\Delta T_{ж} - \Delta T_{п}) + K_{гл}^n \cdot (\Delta T_{гл} + \Delta T_{п})$$

$\Delta T_{п}$  и  $\Delta T_{гл}$  – интервальные времена песчаника и глины соответственно;

$K_{гл}$  – коэффициент глинистости;

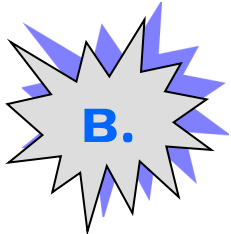
$m$  и  $n$  - показатели степени, зависящие от структуры и степени цементации коллектора и изменяющиеся с уплотнением породы от 0.7 до 1.5.

<i>Свита, возраст</i>	<i>Месторождение, порода-коллектор</i>	<i>Петрофизическое уравнение</i>
<i>Васюганская, юра (Ю<sub>1</sub>)</i>	<i>Крапивинское Ломовое Средневасюганского мегавала</i>	<i><math>\Delta T = 5Kn + 175</math> <math>\Delta T = 4.89Kn + 180.6</math> <math>\Delta T = 5.1Kn + 173</math></i>
<i>Ванаварская, венд</i>	<i>Собинское: песчаник глинистый песчаник доломитистый песчаник (доломита &lt; 7%) песчаник палеокарста</i>	<i><math>\Delta T = 3.545Kn + 168.9</math> <math>\Delta T = 2.591Kn + 196.6</math> <math>\Delta T = 3.79Kn + 164.6</math> <math>\Delta T = 5.739Kn + 155.3</math></i>

**Петрофизические уравнения « $\Delta T$ - $K_{п}$ » некоторых месторождений**

Оценки некоторых параметров глин и физически связанной воды  
(Бранлоу, 1984; Элланский, 2001)

Глинистые минералы группы	Каолинита	Гидрослюд (иллита)	Монтмориллонита
Ёмкость катионного обмена, мг-экв/100г	3-15	20-60	60-150
Удельная поверхность, м <sup>-1</sup>	50	280	900
Интервальное время пробега, мкс/м: в глине (ΔТ <sub>гл</sub> )	213	238	270
в физически связанной воде (ΔТ <sub>в.св</sub> )	680	754	814



Модель четырехфазной среды Элланского-Белозерова

$$\Delta T = a \cdot Kn + b$$

$$a = \Delta T_{в.св} \cdot (1 - K_{в.св}) + \Delta T_{в.св} \cdot K_{в.св} - \Delta T_{п}$$

$$b = (\Delta T_{гл} - \Delta T_{п}) \cdot K_{гл} + \Delta T_{п}$$

ΔТ<sub>в</sub> – интервальное время свободной воды.

<b>Минерал</b>	<b>Модуль Юнга, 10<sup>4</sup>МПа</b>	<b>Модуль сдвига, 10<sup>4</sup>МПа</b>	<b>Модуль всестороннего сжатия, 10<sup>4</sup>МПа</b>	<b>Коэффициент Пуассона, μ</b>
<b>Ортоклаз</b>	<b>6,2</b>	<b>2,4</b>	<b>5,1</b>	<b>0,29</b>
<b>Нефелин</b>	<b>7,6</b>	<b>3,0</b>	<b>5,0</b>	<b>0,24</b>
<b>Кальцит</b>	<b>8.2</b>	<b>3,2</b>	<b>7,1</b>	<b>0,28</b>
<b>Кварц</b>	<b>9,4</b>	<b>4,3</b>	<b>3,6</b>	<b>0,08</b>
<b>Авгит</b>	<b>14,1</b>	<b>5,7</b>	<b>9,2</b>	<b>0,24</b>
<b>Оливин</b>	<b>21,3</b>	<b>8,5</b>	<b>12,9</b>	<b>0,24</b>