2.3. Модель естественной радиоактивности

НГ

1

Радиоактивность горных пород

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

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{4}_{2}\alpha + ^{222}_{86}Rn + \gamma$$

Радий превращается в радиоактивный газ радон

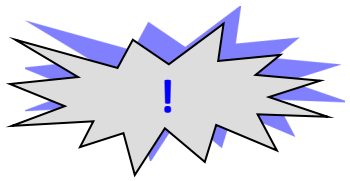
$$^{40}_{19}K + e^{-} \rightarrow ^{40}_{18}Ar + \gamma$$

Калий превращается в аргон

В полевых и скважинных условиях измеряется

гамма-излучение

как наиболее проникающее.



НГ

Гамма-излучение - это жесткое электромагнитное излучение, сопровождающее ядерные превращения.
Энергия γ-излучения индивидуальна для каждого вида ядер и является параметром конкретного ядерного превращения..

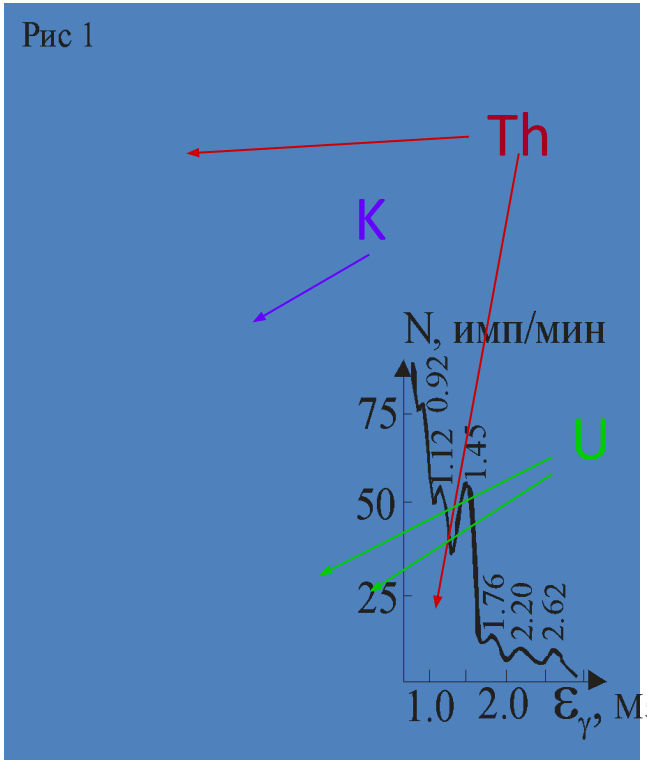
Радиоактивность горных пород определяется содержаниями:

$^{232}_{90}Th$

$^{238}_{92}U$

$^{40}_{19}K$

Рис 1

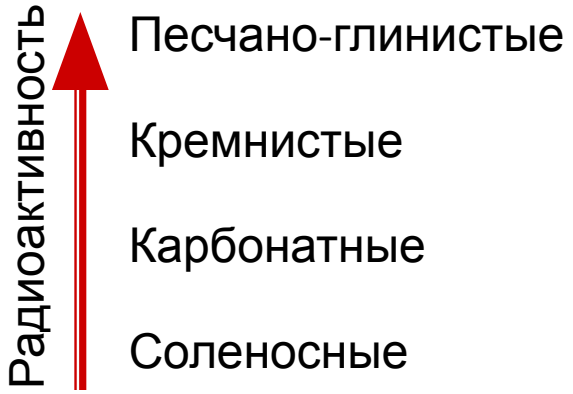


Измеряя интенсивность гамма-излучения в отдельных интервалах спектра определяют содержания U, Th, K в горных породах (***гамма-спектрометрия***)

Среди осадочных пород наиболее радиоактивны глинистые образования

Содержание радиоактивных элементов в осадочных отложениях континентальной части земной коры

Группы пород	K, %	U, 10^{-4}%	Th, 10^{-4}%	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

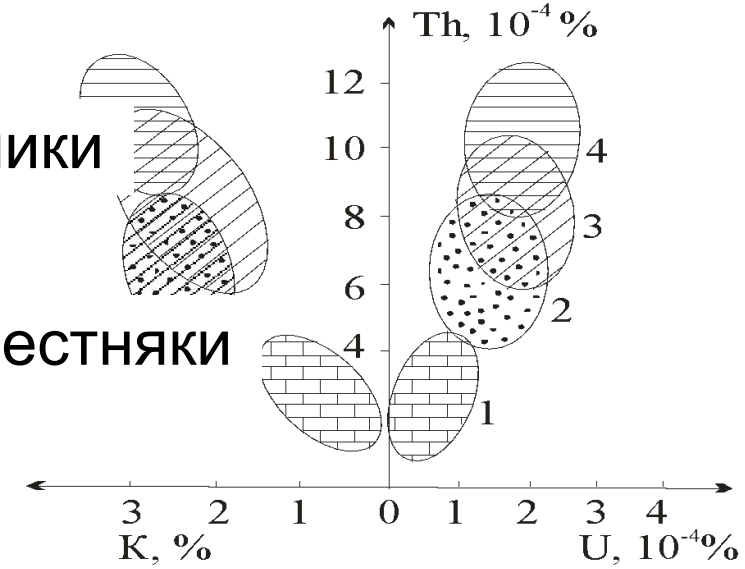
4.Глины

3. Алевролиты

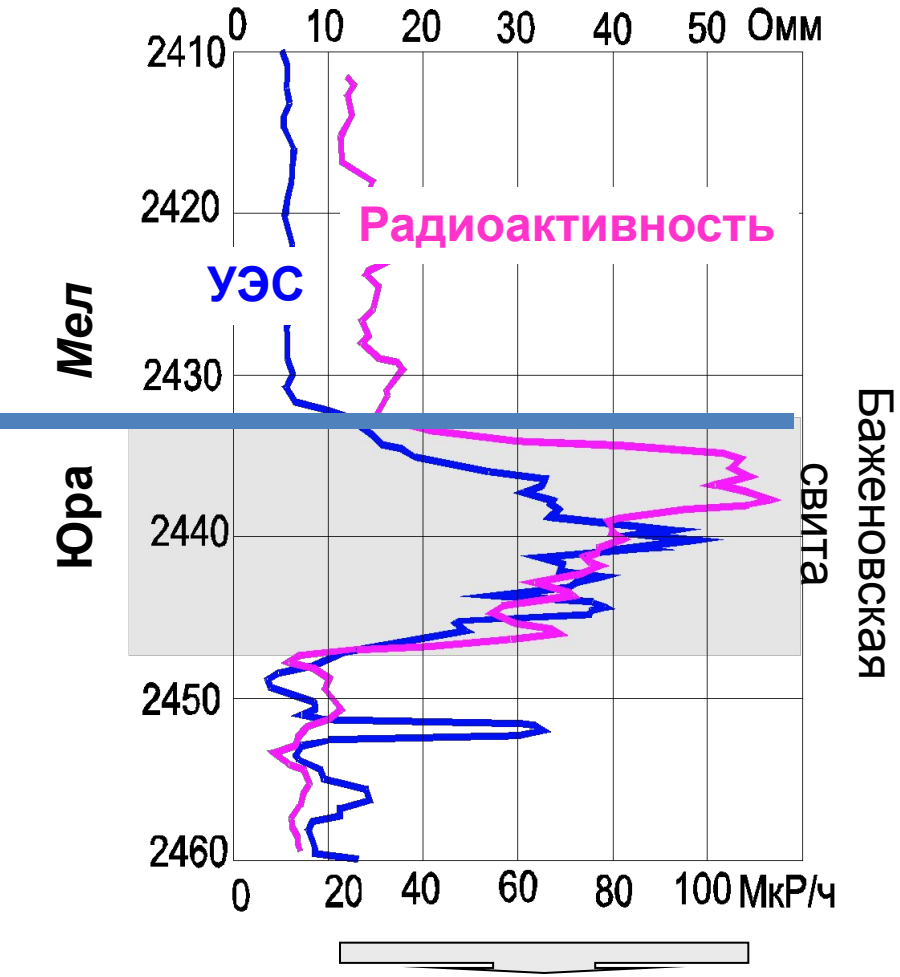
2. Песчаники

1. Известняки

Радиоактивность сеноманских отложений Амударьинского нефтегазоносного бассейна



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

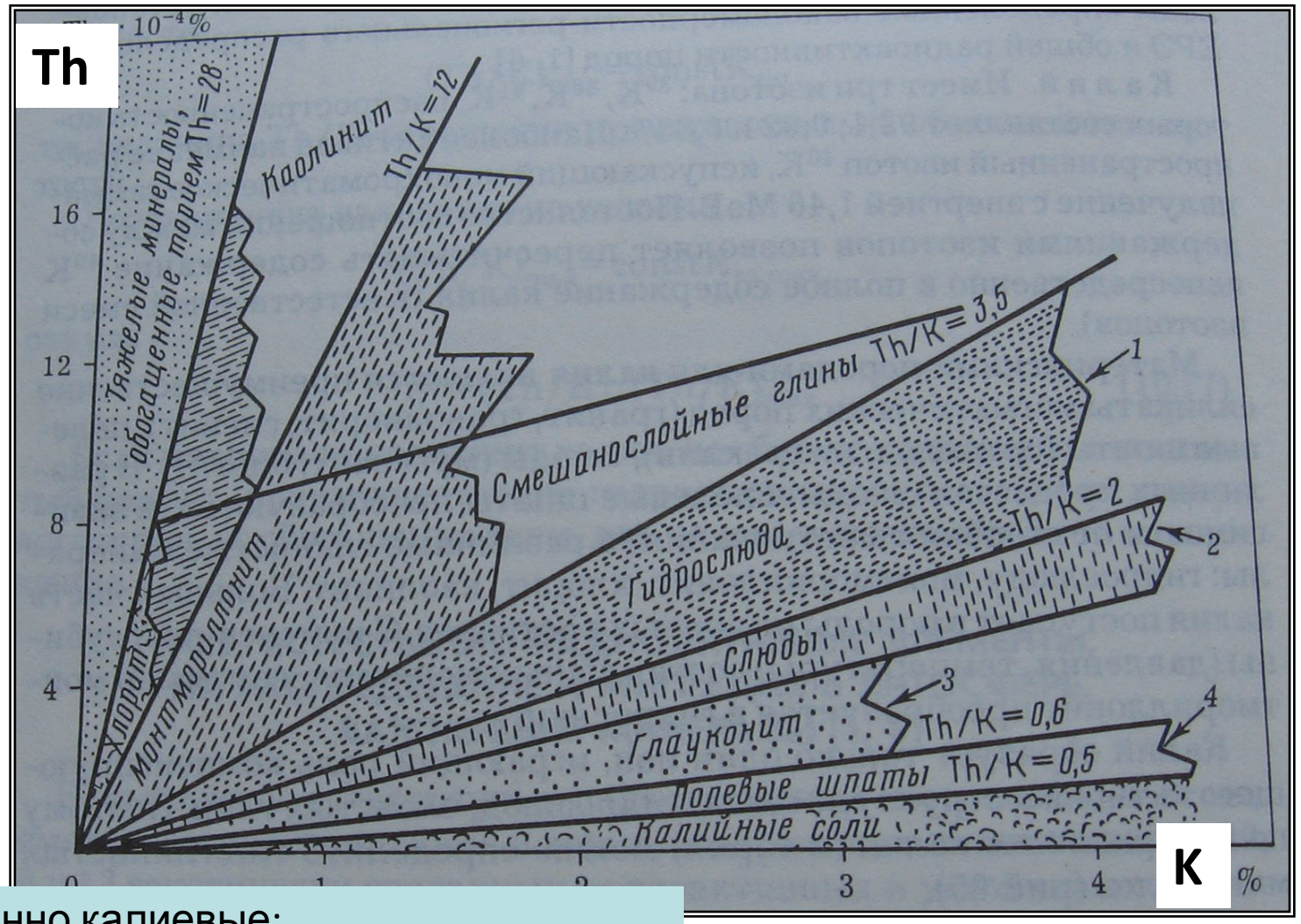


Высокая радиоактивность глин обусловлена повышенными содержаниями в них U, Th и K (***в адсорбированном состоянии)***

Наименее радиоактивные Образования:
-угли
-карбонаты
-песчаники-коллекторы

Наиболее радиоактивные образования:
-битуминозные аргиллиты баженовской свиты
- глины

Преимущественно ториевые:
Каолинит, Монтмориллонит,
Смешанослойные



Преимущественно калиевые:
Гидрослюда, Слюды, глауконит, полевые шпаты

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

!

2 Модель глинистости коллектора

Условия применения естественной радиоактивности для оценки глинистости терригенных пород:

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

Теоретическая модель глинистости ►

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

ΔJ=(J-Jмин)/(Jмакс-Jмин) – двойной разностный параметр показаний гамма-каротажа

Сгл.макс – максимальная глинистость пласта глин, ***используемого при получении относительных показаний ΔJ.***

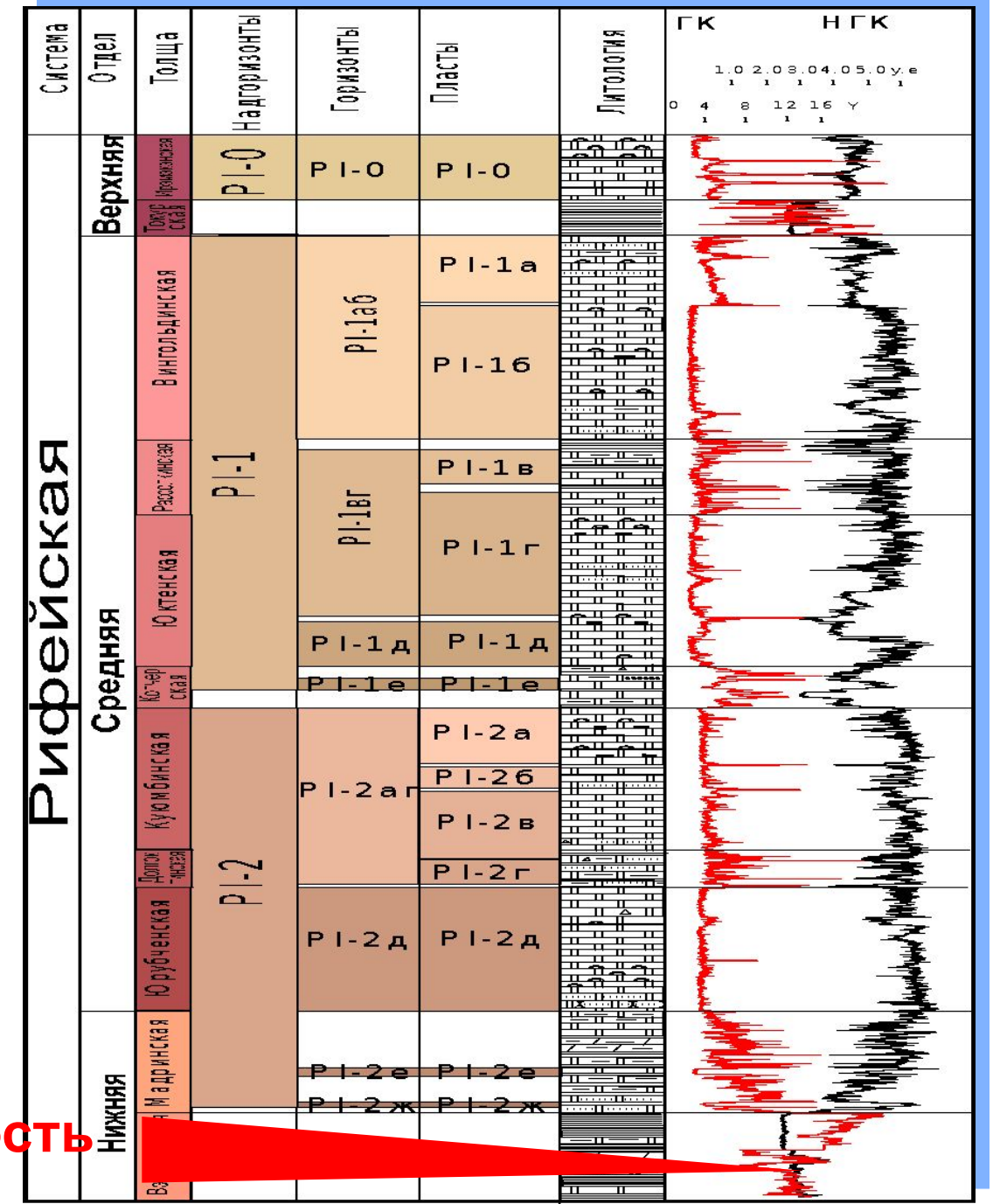
Используемое уравнение ►

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

Юрубченское нефтяное месторождение

ΔJγ=0,004+0,0019 Сгл
Сгл=51,5ΔJγ-0,20

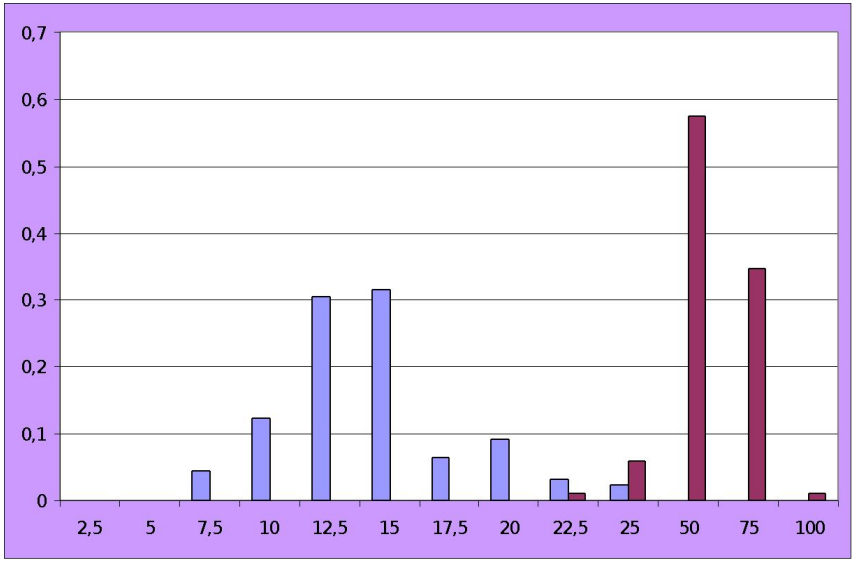
Естественная радиоактивность



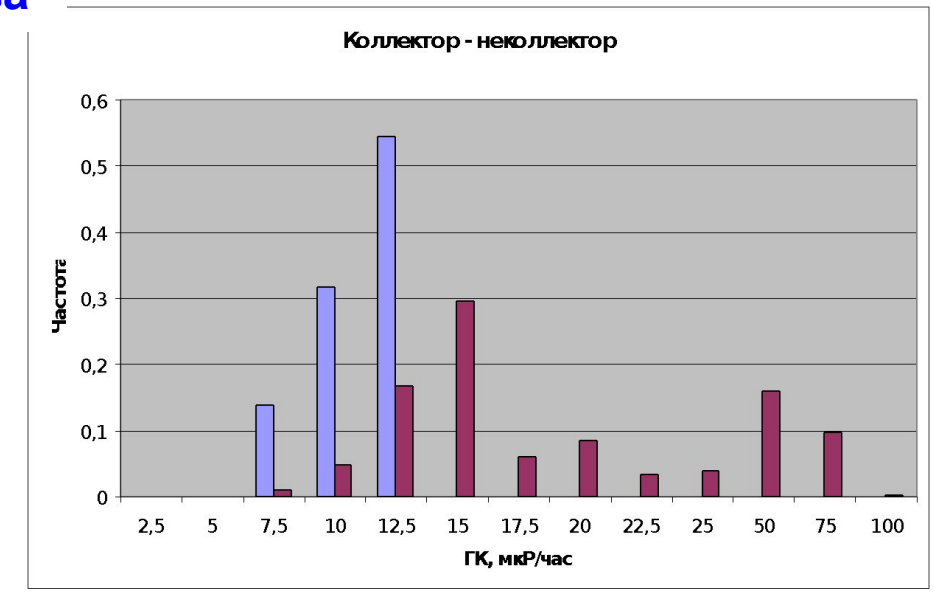
Основные задачи метода ГК

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

Баженовская – остальная часть разреза



Коллектор - неколлектор



Радиоактивность (ГК), мкР/час

2.4. Модели нейтронной пористости

НГ 1 Нейтронные характеристики горных пород

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

Нейтроны

Быстрые	Промежуточные	Тепловые
En>0.1 МэВ	*1эВ<En<0.1МэВ*	*En<1 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 ξ – логарифмическая потеря энергии на одно соударение

При изотропном рассеянии:

$$\xi = LnEo - LnE = 1 + \alpha \cdot \frac{Ln\alpha}{1-\alpha}$$

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

Eo, 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

Быстрые нейтроны → Замедление быстрых нейтронов → Диффузия тепловых нейтронов → Радиационный захват тепловых нейтронов

Измерения плотности тепловых нейтронов или интенсивности захватного гамма-излучения

Нейтронные характеристики

Замедляющие:

Ls –длина замедления

Поглощающие:

Ld – длина диффузии;

τ - время жизни теплового нейтрона

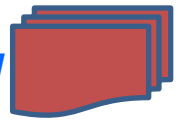
Ls – среднее квадратичное расстояние от начала движения в породе быстрого нейтрона до точки его замедления до тепловой энергии.

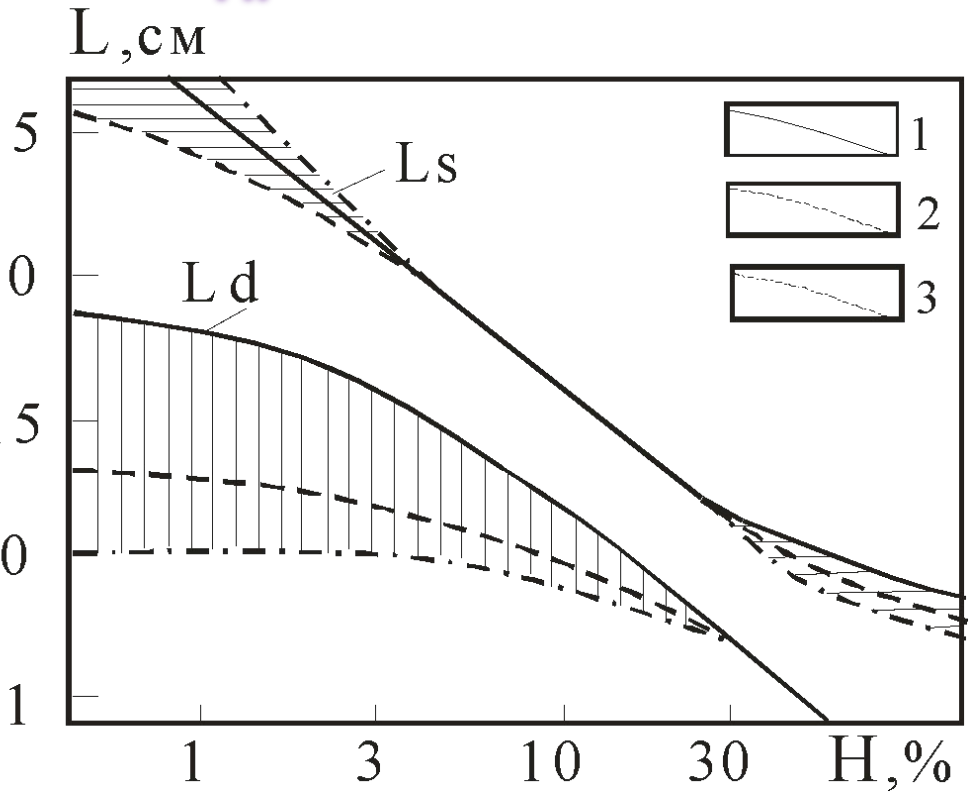
Основным замедлителем в горных породах является водород

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

τ -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 эВ

Сравнительные данные о нейтронных параметрах минералов различной степени аномальности

Минералы	L_S, *см*	*τ, мкс*	*Аномальные элементы в минерале*
Аномально поглощающие минералы			
Галит	*46,7*	*6*	*Cl*
Борацит	*15,2*	*0,19*	*B*
Кобальтин	*32,3*	*5*	*Co*
Киноварь	*67,8*	*0,6*	*Hg*
Минералы с аномальными L_S и τ			
Ашарит	*8,8*	*0,32*	*H, B*
Гидроборацит	*6,5*	*0,32*	*H, B*

Нейтронные параметры природных сред

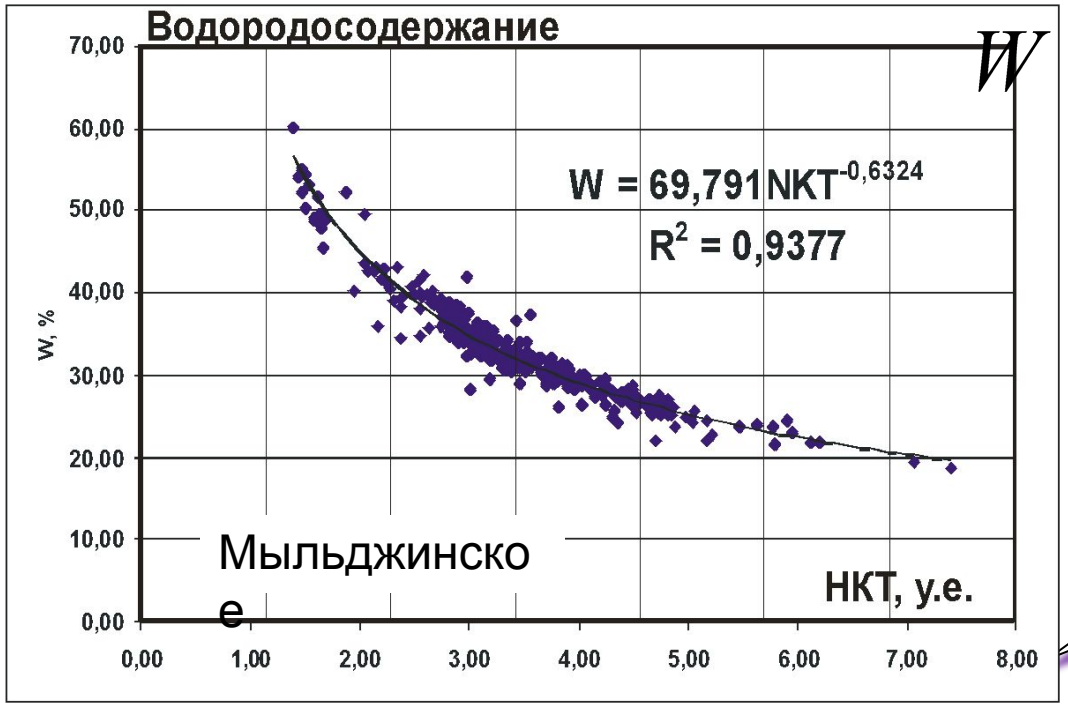
Природная среда	Ld, см	τ, 10^{-4} с
Вода	2,015	2,07
Глина (40% влажности)	2,28	1,75
Песок (25% влажности)	4,04	3,2
Глина сухая	18,7	9,22
Песок сухой	23,85	14,5

НГ 2

Модели нейтронной пористости

Содержание водорода в горных породах характеризуют:

<u>водородным индексом</u> (водородосодержанием) ***W*** *– отношение объемного содержания водорода в породе к его содержанию в пресной воде.*



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

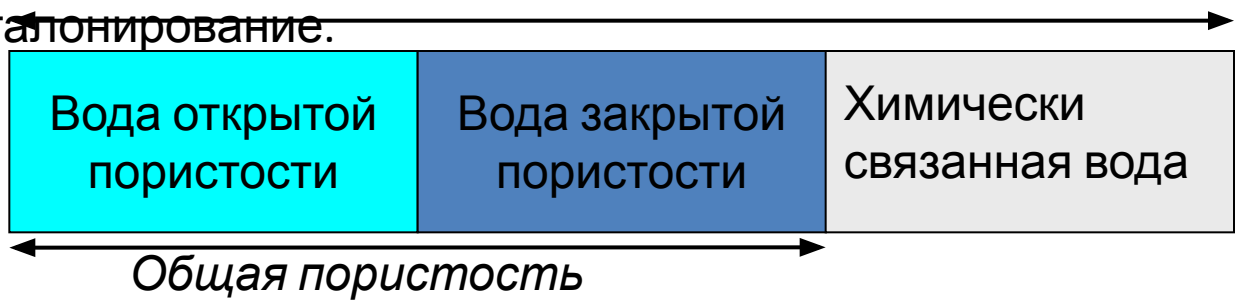
Эталонная зависимость для определения водородосодержания по данным нейтронного каротажа.

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

НКТ – показания нейтронного каротажа по тепловым нейтронам

НГ

Коэффициент нейтронной пористости Кп.н (W) – показания нейтронного
каротажа в масштабе пористости, исправленное за отличие по плотности
и литологии исследуемого пласта от опорного, по которому проводится
эталонирование.



Суммарное водородосодержание коллектора (нейтронная пористость):

$$W = \omega_ф Кп(общ) + \omega_{гл} \cdot Кгл + \omega_{ск} \cdot (1 - Кп(общ) - Кгл)$$

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

Для чистого неглинистого водонасыщенного коллектора:

$$W = Кп(общ)$$

НГ

*Водородосодержание **газа** зависит от плотности:*

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

Вода и нефть

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

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

Модель нейтронной пористости

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

W – измеренное водородосодержание коллектора (твердой части)

Петрофизическая модель продуктивной части разреза

(*Обобщенные данные по разрезу Лантынь-Яхского месторождения)*

7. Баженовская

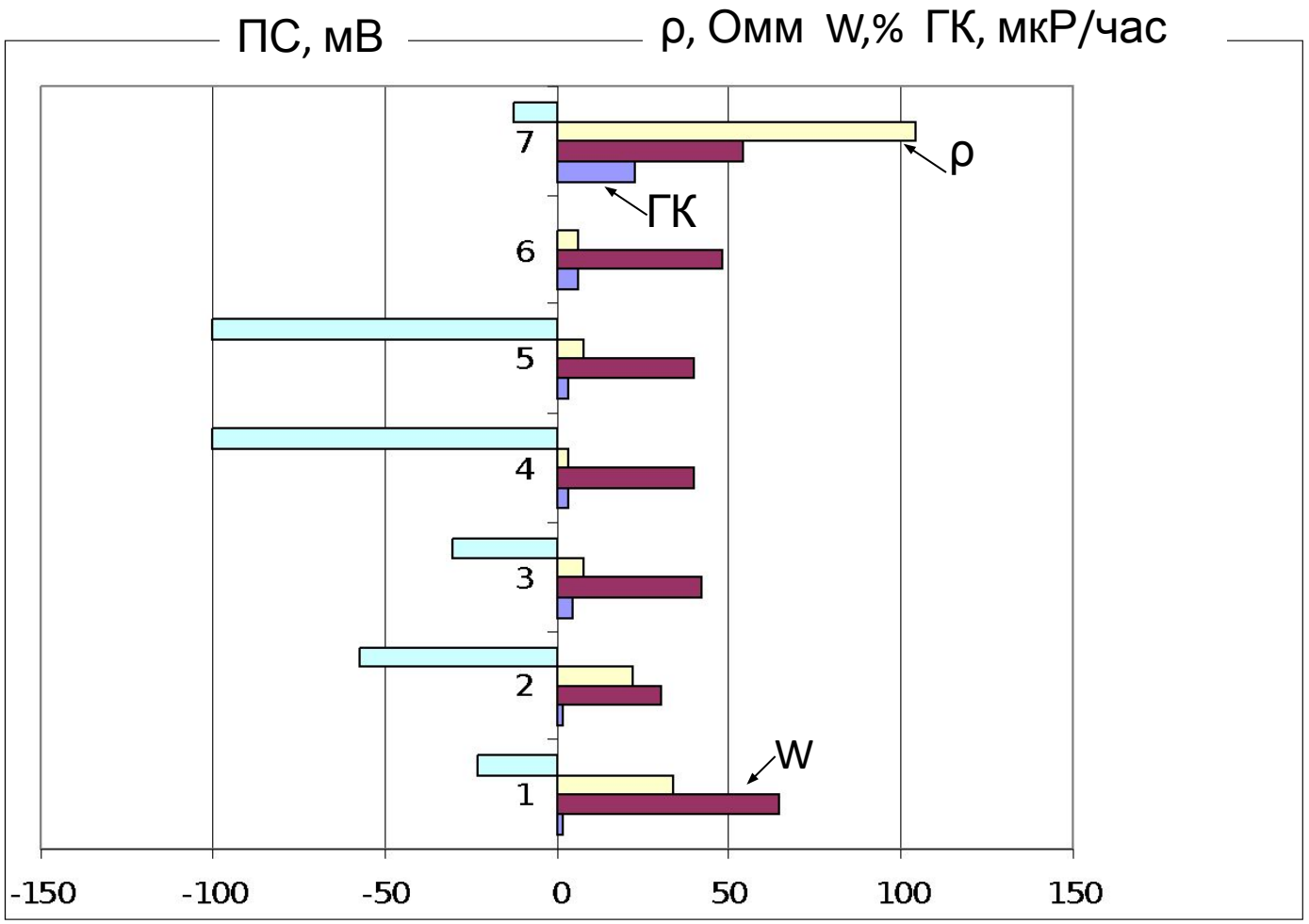
6. Глины

Песчаник:
5.Нефтеносный
4. Водоносный

3. Алевролит

2. карбонатиз. песчаник

1. уголь



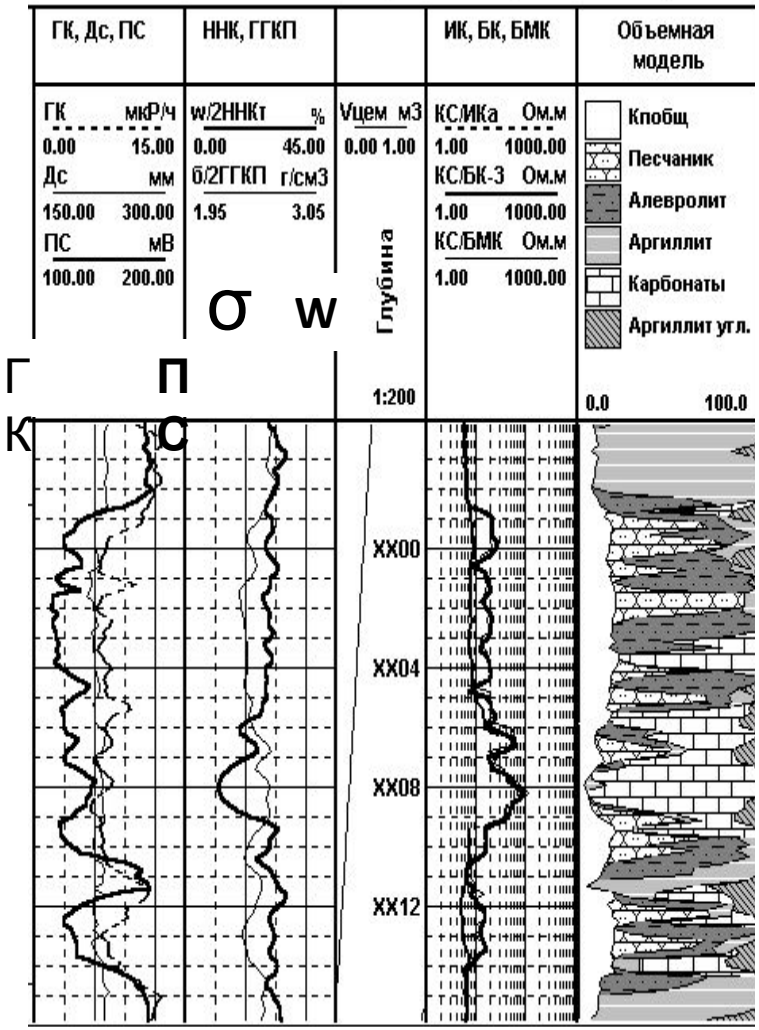
Задачи, решаемые методом НКТ

1. Литологическое расчленение разреза

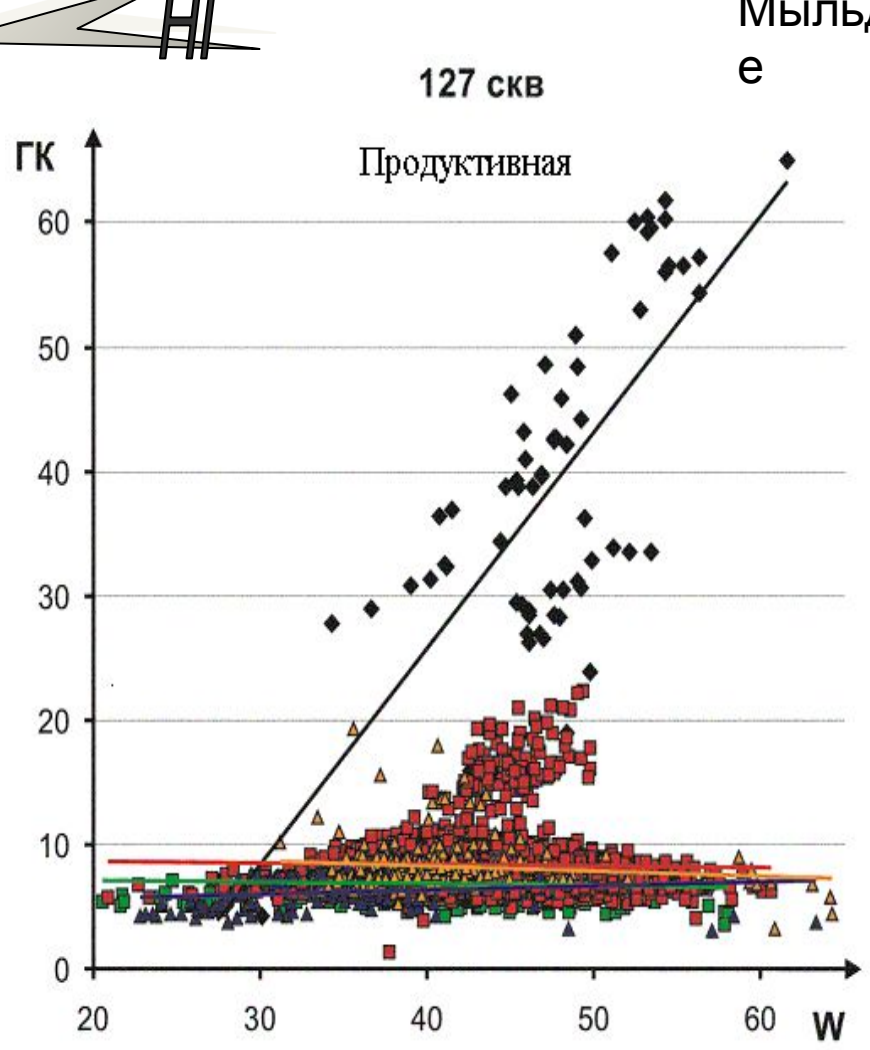
2. Оценка коэффициента пористости

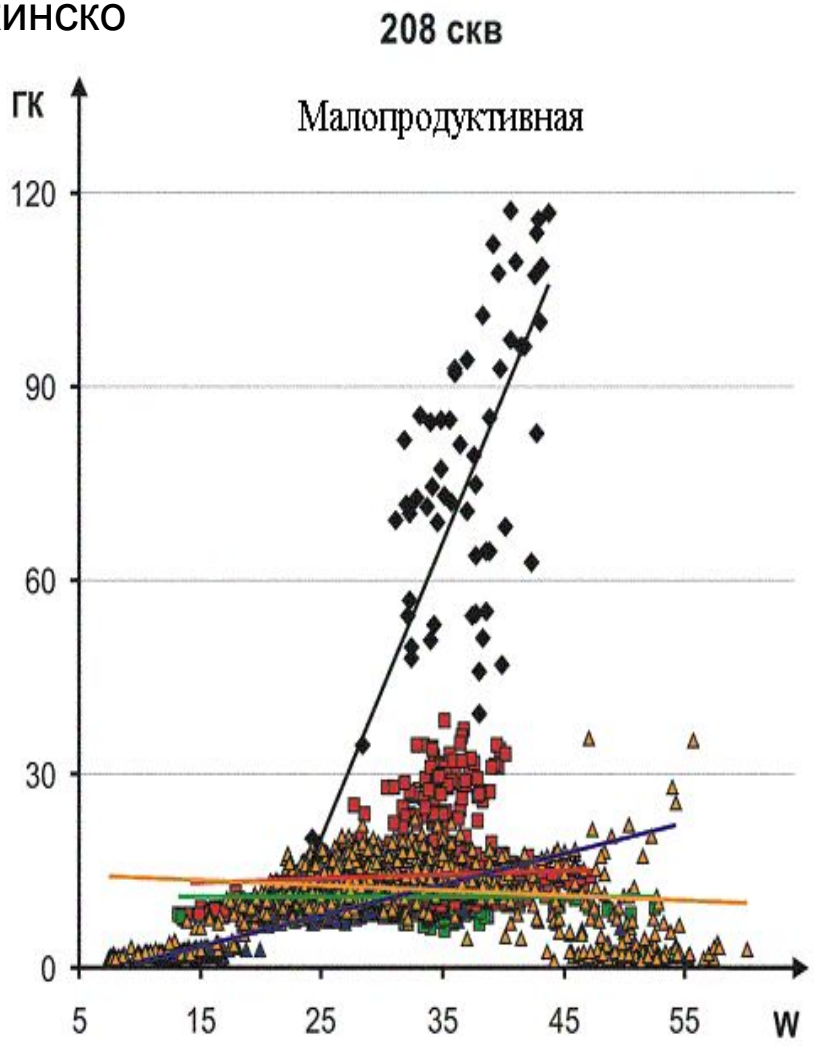
3. Оценка газонасыщенности коллектора

(Оценка нефтенасыщенности коллектора
- в благоприятных условиях)



Мыльджинское





- Разрез продуктивной скважины отличается повышенным водородосодержанием, пониженной радиоактивностью.

2.5. Акустическая пористость

Упругие колебания - процесс распространения знакопеременных деформаций

Упругие волны:

Продольные (P-волны) – волны сжатия-растяжения

Поперечные (S-волны) – волны сдвига

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

Скорости распространения упругих волн

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

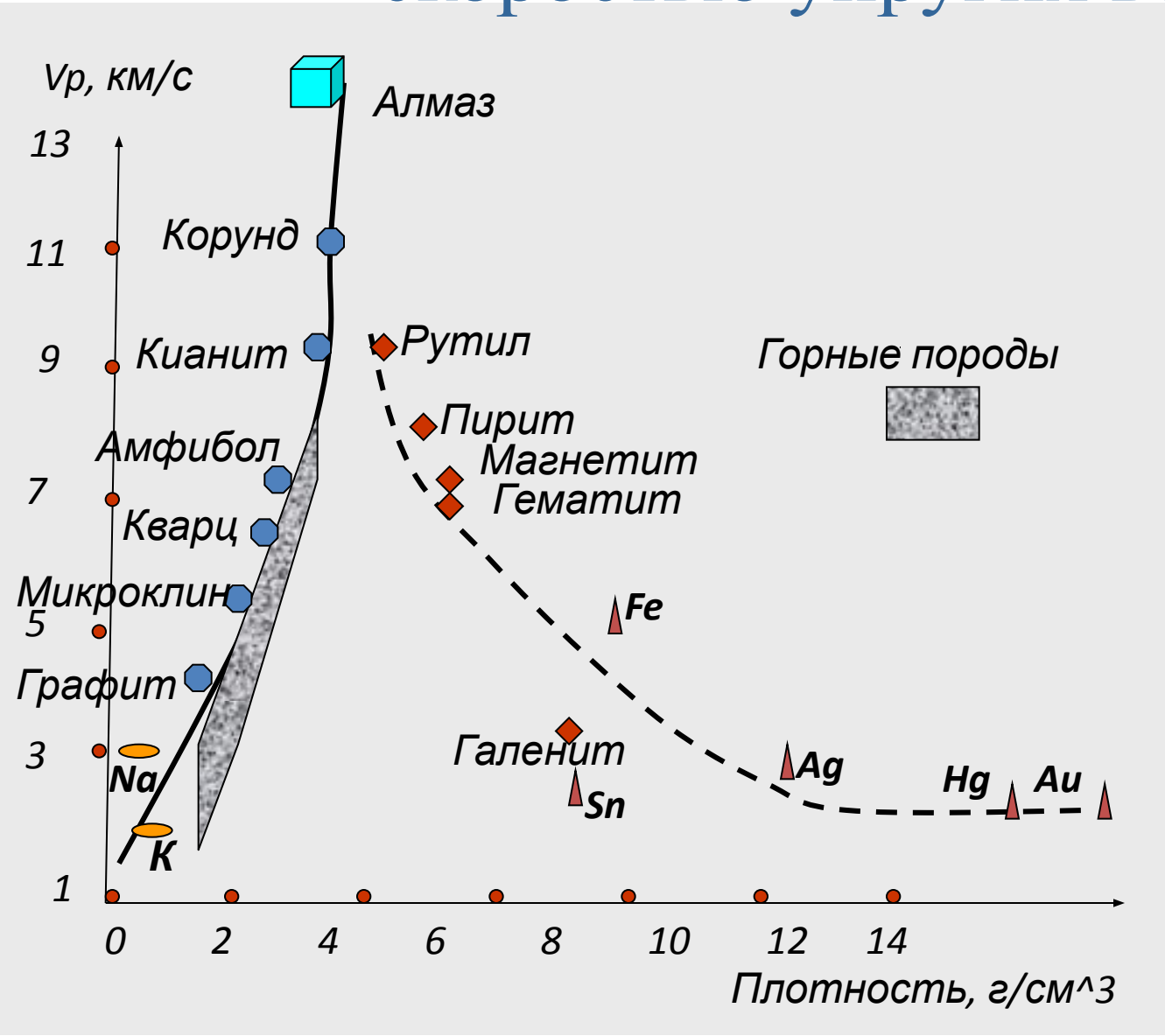
$V \cdot \sigma$ — **акустическая жесткость**

?

Условие отражения?

Между скоростью и плотностью прямые или обратные соотношения?

Соотношение между плотностью и скоростью упругих волн

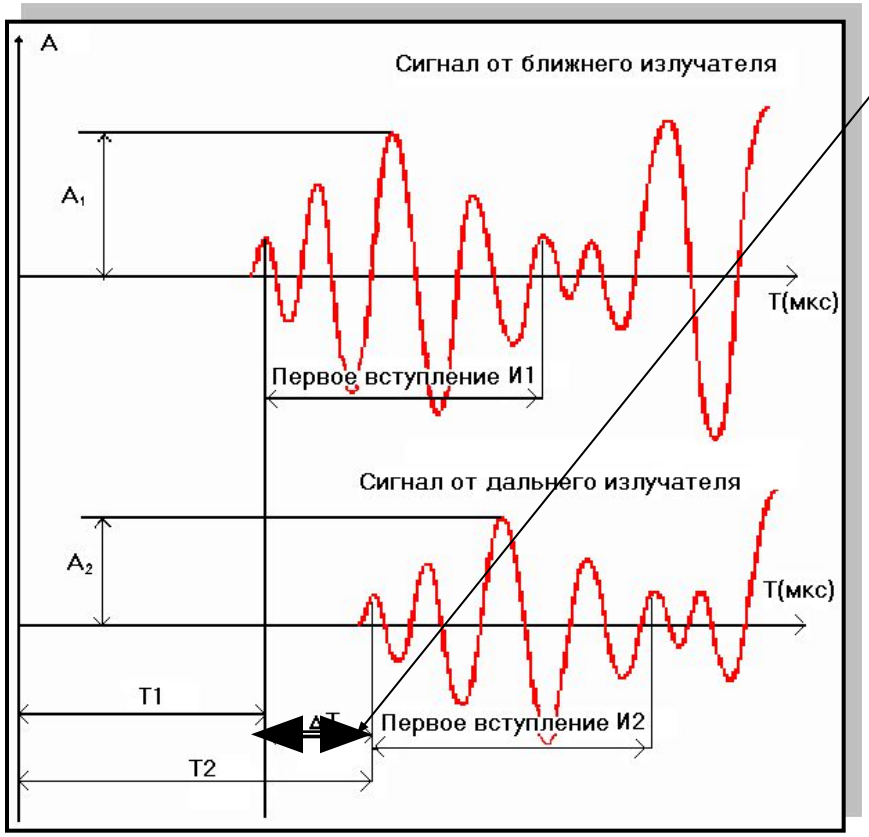


Модели акустической пористости

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

Измеряемый параметр – ***интервальное время ΔТ –*** показывает, сколь времени пробегает волна расстояние в 1 метр.

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



Месторождения Томской области (пластовые давления)

	ΔТ, мкс/м
Кальцит	158
Непористый песчаник	172
Глина	253
Вода	**610**
Нефть	**670**
Газ	**790**

Упругость

Уравнение среднего времени:

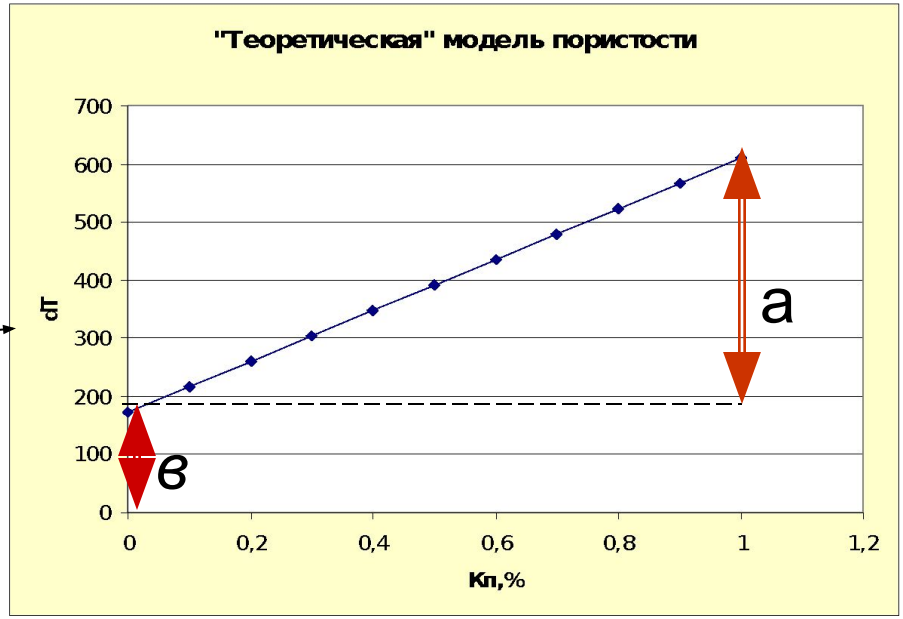
$$\Delta T = \Delta Tф \cdot Kп + (1 - Kп) \cdot \Delta Tmв = (\Delta Tф - \Delta Tmв) \cdot Kп + \Delta T_{mв}$$

Статистическая модель

$$\Delta T = a \cdot Kп + в$$

«Теоретическая» модель пласта Ю1 Томской области

ΔТ=438Кп+172



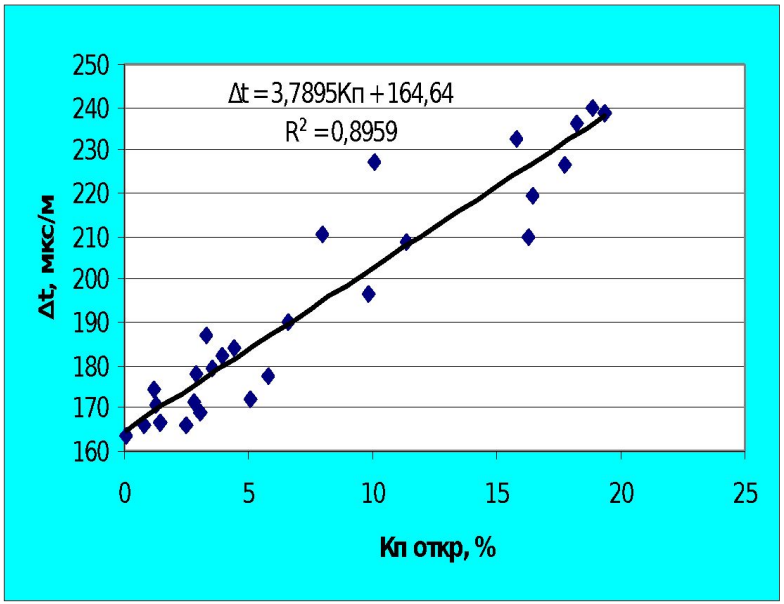
a. ***Модель двухфазной среды (традиционная)***

$$a = \Delta Tф - \Delta Tmв \qquad в = \Delta Tmв$$

ΔТ(доломит)=143мкс/м

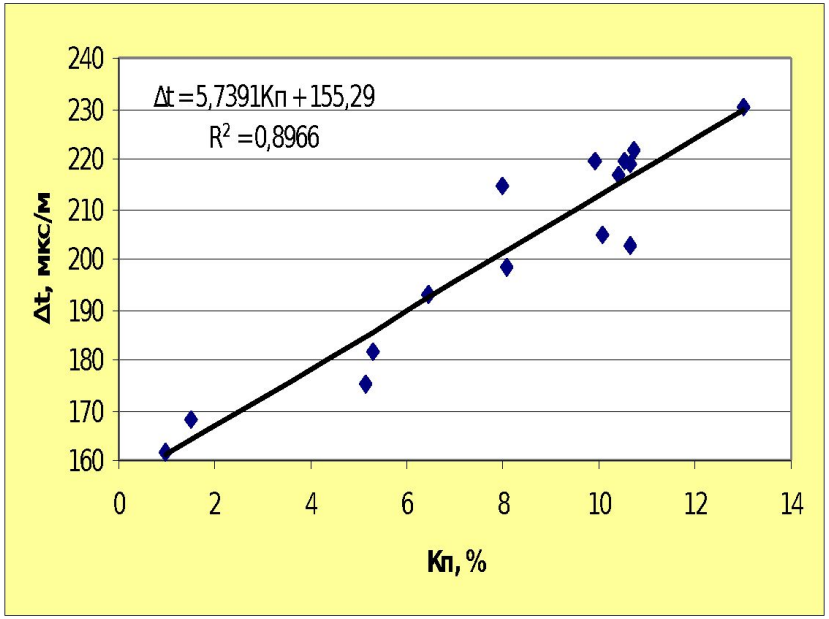
Акустические модели пористости Собинского месторождения (Красноярский край)

Песчаник Б-VIII
(доломита < 7%)



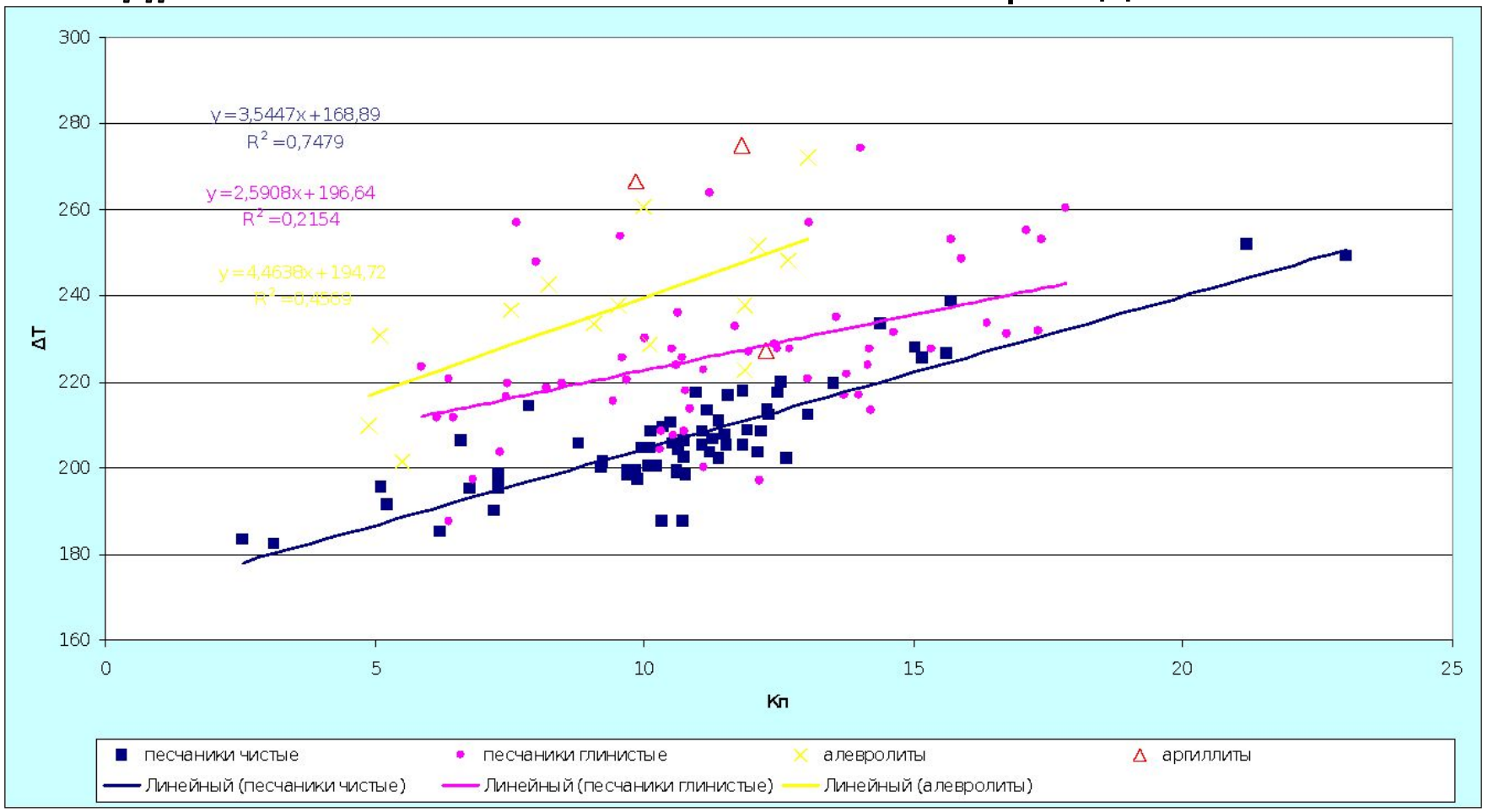
ΔТ=3.7895Кп+164.64

Песчаник палеокарста
(доломита <10%)



ΔТ=5.7391Кп+155.29

Собинское месторождение



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

НГ

б.

Модель трехфазной среды (В.Н.Дахнова)

$$\Delta T=\Delta Tп+Кп^{m}\cdot(\Delta Tж-\Delta Tп)+Кгл^{n}\cdot(\Delta Tгл+\Delta Tп)$$

ΔТп и ΔТгл – интервальные времена песчаника и глины соответственно;
Кгл –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.

Свита, возраст	*Месторождение, порода-коллектор*	*Петрофизическое уравнение*
Васюганская, юра ($Ю_1$)	*Крапивинское* *Ломовое* *Средневасюганского мегавала*	*ΔT = 5Кп + 175* *ΔT = 4.89Кп + 180.6* *ΔT = 5.1Кп + 173*
Ванаварская, венд	*Собинское:* *песчаник* *глинистый песчаник* *доломитистный песчаник (доломита < 7%)* *песчаник палеокарста*	*ΔT = 3.545Кп + 168.9* *ΔT = 2.591Кп + 196.6* *ΔT = 3.79Кп + 164.6* *ΔT = 5.739Кп + 155.3*

Петрофизические уравнения «ΔТ-Кп» некоторых месторождений

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

Глинистые минералы группы	*Каолинита*	*Гидрослюд (иллита)*	*Монтмор-иллонита*
Ёмкость катионного обмена, мг-экв/100г	*3-15*	*20-60*	*60-150*
Удельная поверхность, $м^{-1}$	*50*	*280*	*900*
Интервальное время пробега, мкс/м: *в глине (ΔТгл)* *в физически связанной воде (ΔТв.св)*	 *213* *680*	 *238* *754*	 *270* *814*

В.

Модель четырехфазной среды Элланского-Белозерова

$$\Delta T = a \cdot Kn + в$$

a =ΔТв · (1-Кв.св)+ ΔТв.св · Кв.св-ΔТп

b=(ΔТгл-ΔТп) · Кгл+ΔТп

ΔТв – интервальное время свободной воды.

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