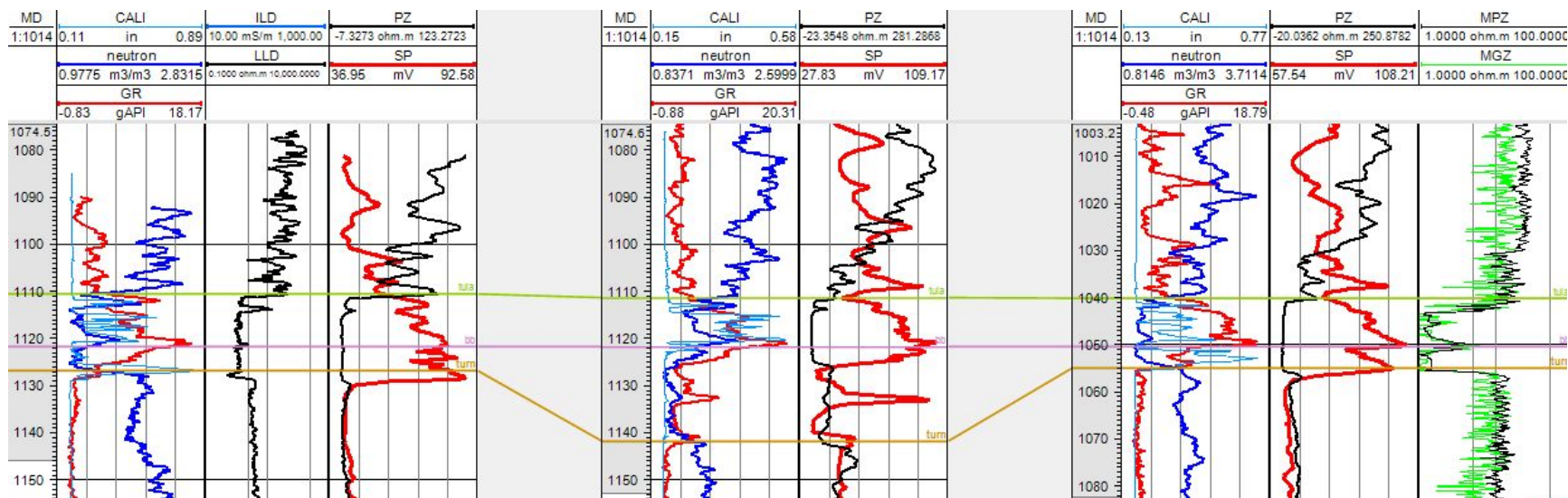




Казанский федеральный  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ  
геологии и нефтегазовых  
технологий

# Интерпретация данных ГИС. Физические основы



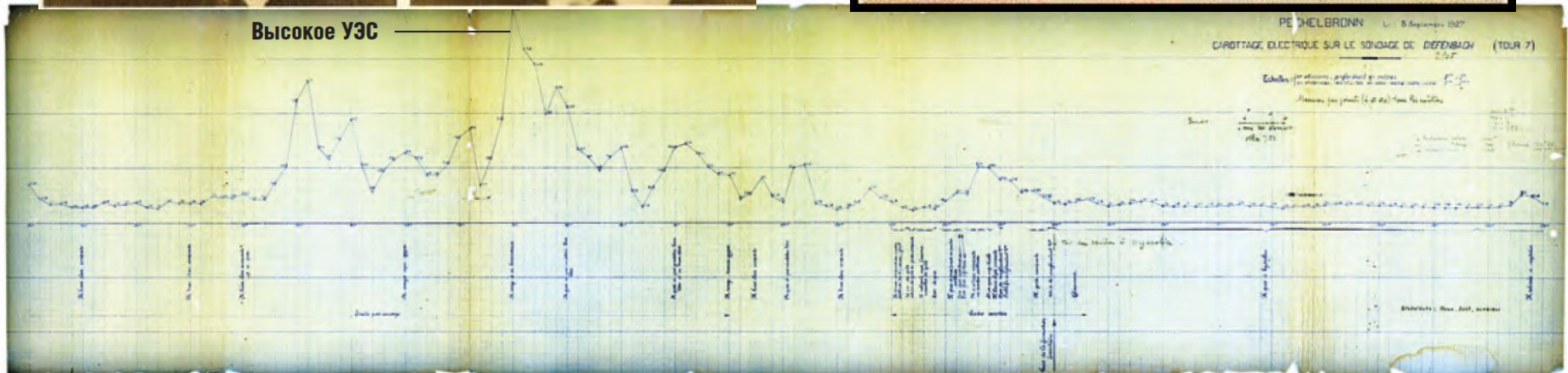
Платов Б.В.



# Введение



удель  
к) был  
Франц  
мных о  
х УЭО  
едней  
H.G.,



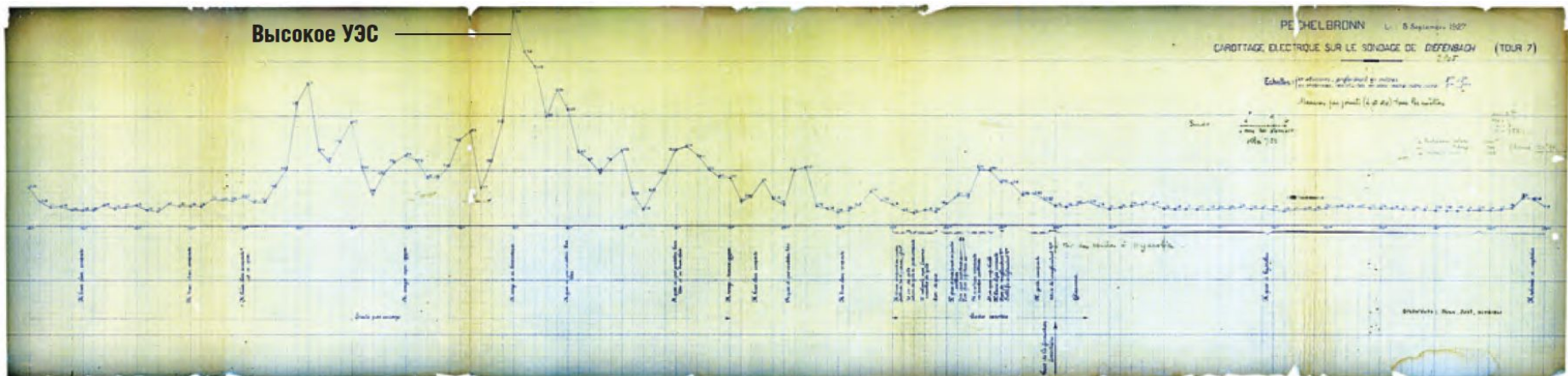
The first diagram of the resistivity log. September, 5, 1927. France, Peshelbronn field.





# Введение

Первая диаграмма электрического каротажа удельного электрического сопротивления (УЭС). Первый **carottage électrique** (электрокаротаж) был проведен 5 сентября 1927 г. в скважине на нефтяном месторождении Пешельбронн, Франция. Данные были получены с помощью оборудования, использовавшегося для наземных съемок. Сигнал на диаграмме изменяется в Ом\*м, как и на современных диаграммах УЭС. Высокоомный интервал коррелирует с известной зоной нефтеносных песков в соседней скважине, что подтвердило применимость каротажных данных для оценки скважин (Doll H.G., 1949).



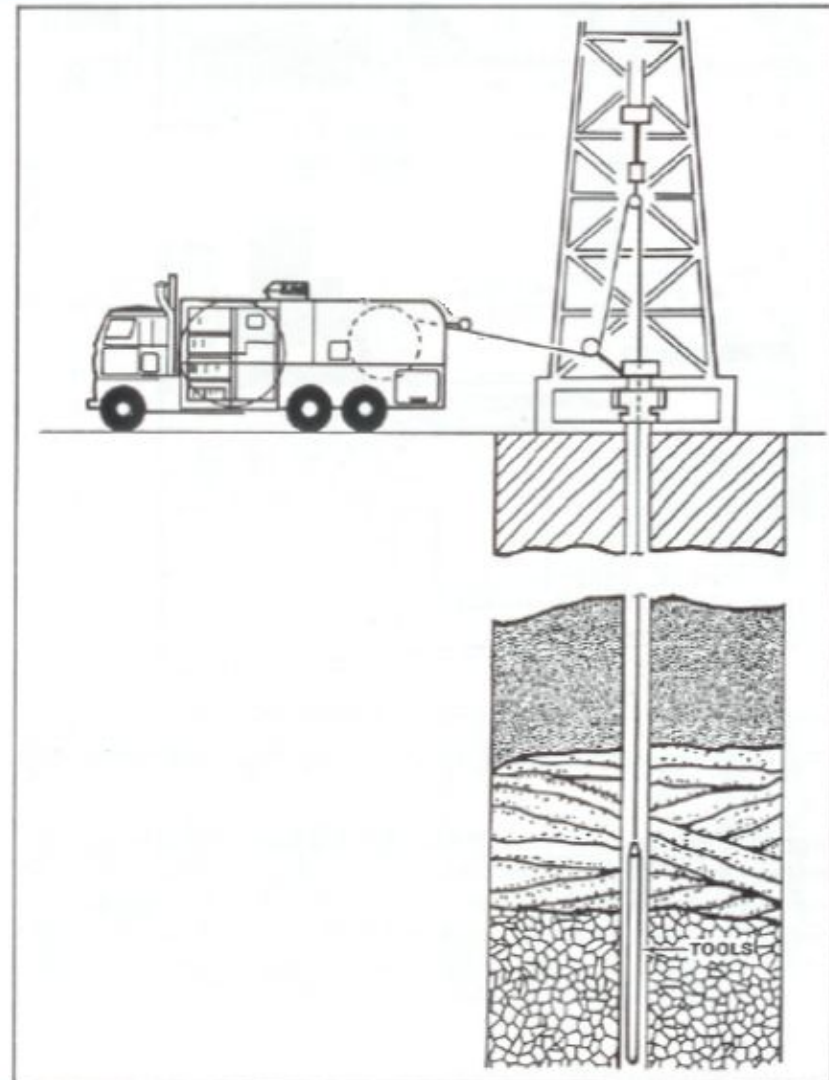
The first diagram of the resistivity log. September, 5, 1927. France, Peshelbronn field.



# Введение

## Геофизические Исследования Скважин (ГИС), Каротаж

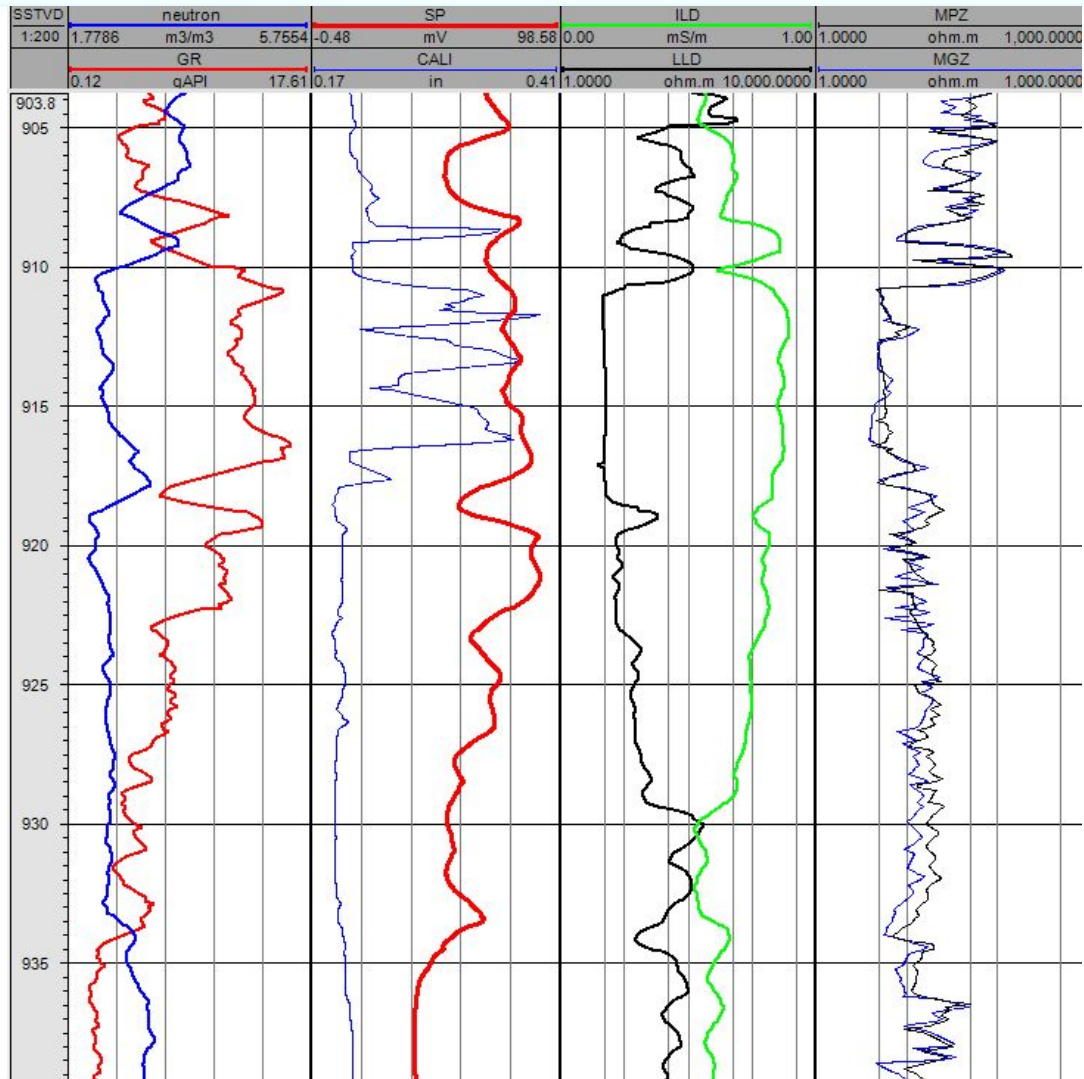
- Проведение непрерывных измерений свойств геологического разреза при помощи специальных приборов (каротажных зондов), опускаемых в скважину на каротажном кабеле при помощи специального оборудования
- *Изучение геологических свойств физическими*







# Каротажная диаграмма





# Классификация методов ГИС

**Электрический каротаж** – изучение электрических свойств горных пород

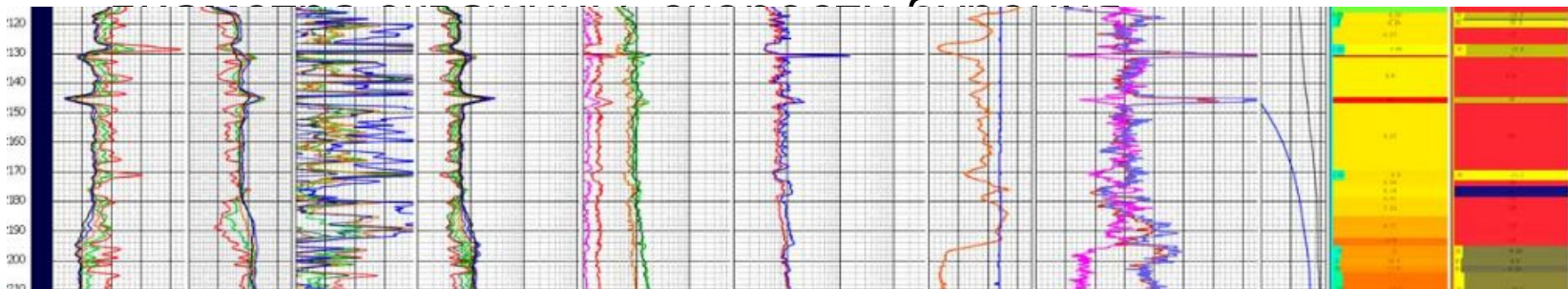
**Радиоактивный каротаж** – исследование радиоактивных свойств элементов, слагающих горные породы

**Акустический каротаж** – изучение скорости распространения и затухания упругих колебаний в горных породах

**Ядерно-магнитный каротаж** – исследование магнитных свойств элементов горных пород

**Термокаротаж** – тепловое поле и термические свойства пород

**Механический каротаж** – к нему относятся измерение





# Электрические методы ГИС

**ПС** – измерение естественных электрических полей  
(потенциал самопроизвольной поляризации)

**КС** – каротаж обычными зондами (кажущееся сопротивление)

**БКЗ** – боковое каротажное зондирование

**БК** - каротаж фокусированными зондами (Боковой каротаж)

**ИК** – индукционный каротаж

**ВИКИЗ** – высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование

**МКЗ** – микрокаротаж

**Микросканеры** – микросканирование







# Метод ПС

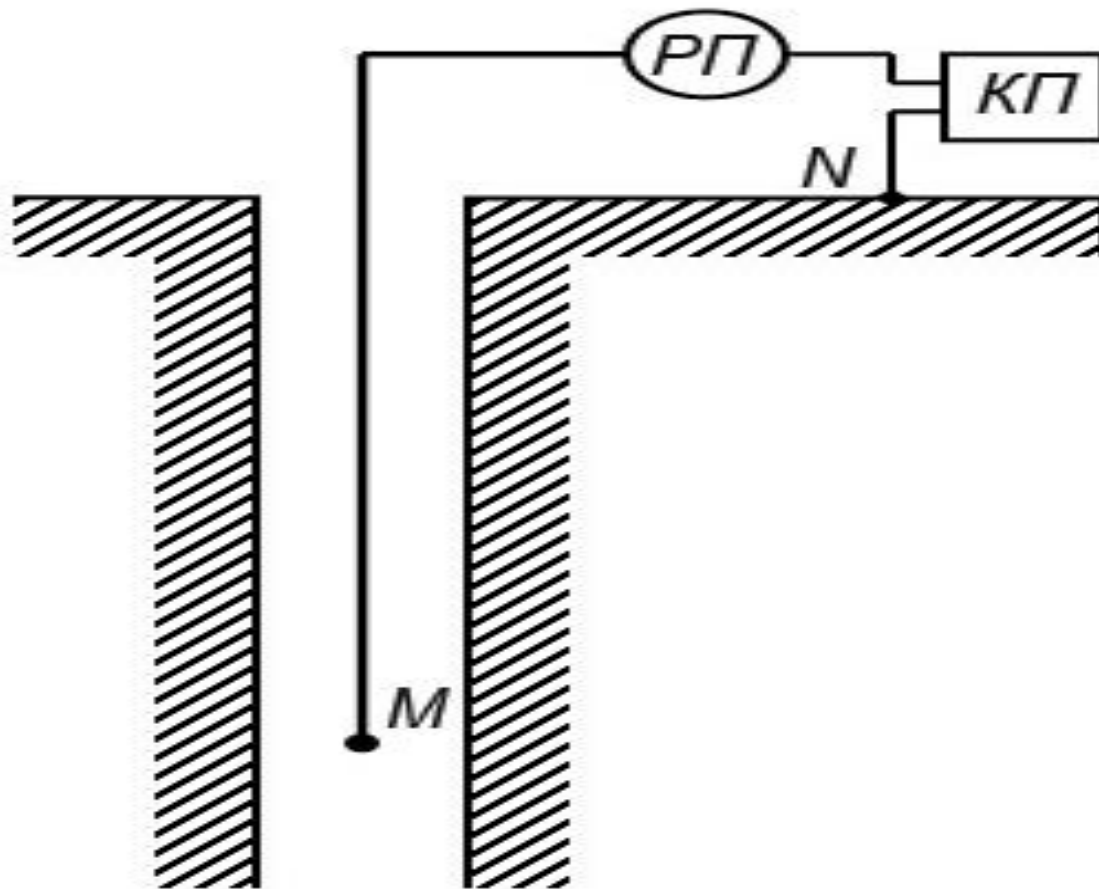
Происхождение естественных потенциалов в скважине обусловлено главным образом процессами:

- **диффузионно-адсорбционными**
- **фильтрационными**
- **окислительно-восстановительными**

возникающих на границах пластов, различающихся по своим литологическим свойствам, и на контакте промывочной жидкости в скважине и пластов, поры которых заполнены водой той или иной минерализации.

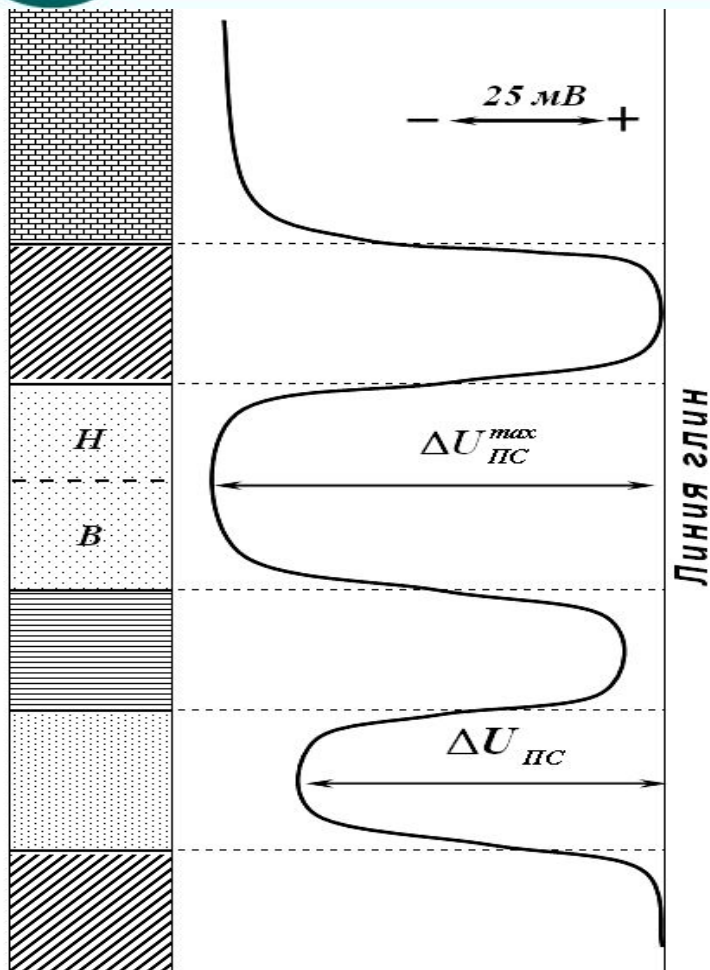


# Реализация методов ПС





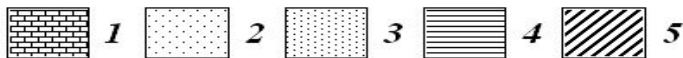
# Пример кривой ПС



**Альфа ПС**  
 $\alpha_{ПС} = \Delta U_{ПС} / \Delta U_{ПС}^{max}$   
**ПС**

*Изменение потенциалов ПС по стволу скважины:*

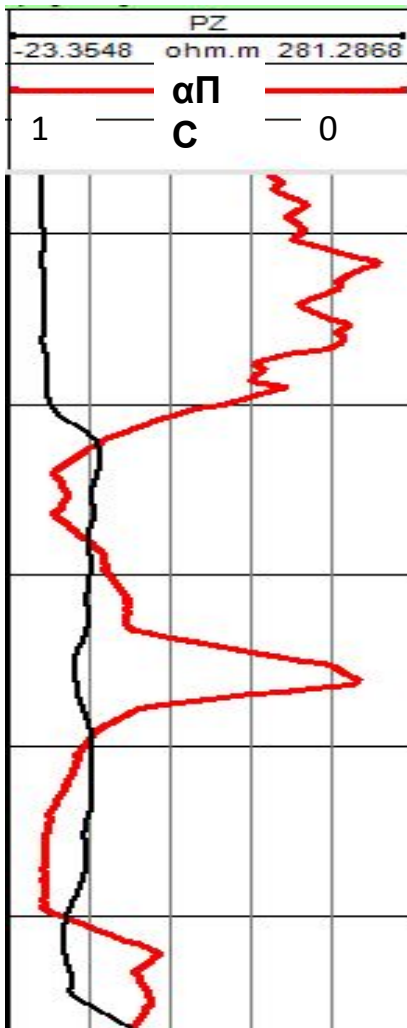
- 1 – известняк,
- 2 – песчаник,
- 3 – глинистый песчаник,
- 4 – аргиллит,
- 5 – глина







# Пример кривой ПС



**Альфа ПС**  
 $\alpha_{ПС} = \Delta U_{ПС} / \Delta U^{\text{макс}}$   
**ПС**



# Решаемые задачи ПС

- расчленение разреза скважин;
- выделение в разрезе тонкодисперсных (глинистых) пород и коллекторов;
- определение минерализации пластовых вод;
- оценка пористости коллекторов, в случае установления чёткой взаимосвязи между пористостью и глинистостью.



# Ограничения метода ПС

- Только открытый ствол
- Необходима разница в концентрации солей между пластом и буровым раствором
- Неточен в карбонатном разрезе





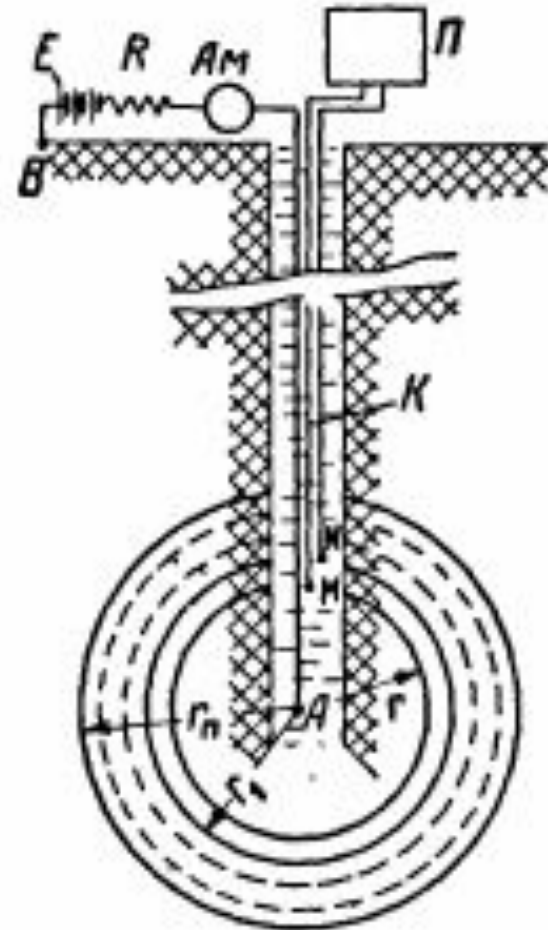
# Электрокаротаж обычными зондами КС

**Электрокаротаж обычными зондами - это каротаж стандартными градиент- и потенциал-зондами с целью определения сопротивления горных пород.**



# Электрическое поле в скважине

- Через электроды А и В, называемые токовыми, пропускают ток  $i$ , создающий электрическое поле в породе.
- При помощи измерительных электродов М и N проводят измерение разности потенциалов  $\Delta U$  между двумя точками электрического поля.





# Кажущееся сопротивление

$$\rho = K \frac{\Delta U}{i},$$

В случае **однородной** среды, при любых размерах зонда мы будем получать истинное удельное сопротивление.

При каротаже мы всегда имеем дело с неоднородной средой, состоящей из пластов различной мощности и удельного сопротивления и бурового раствора, заполняющего скважину.

Поскольку выражение, справедливое лишь для однородной среды, применяется для среды неоднородной, то получаемый результат называют *кажущимся удельным сопротивлением  $\rho_k$*



# Кажущееся сопротивление

$$\rho = K \frac{\Delta U}{i},$$

В случае од  
будем по  
При карота  
средой,  
удельног  
заполняк

Поскольку  
среды,  
получаем  
сопроти



х зонда мы  
ние.  
днородной  
ощности и  
раствора,

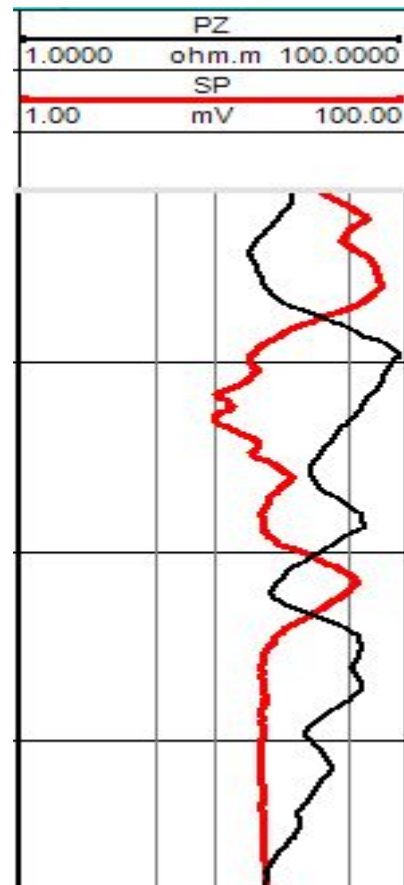
днородной  
дной, то  
удельным



# Пример кривой КС



Линейный масштаб



Логарифмический масштаб





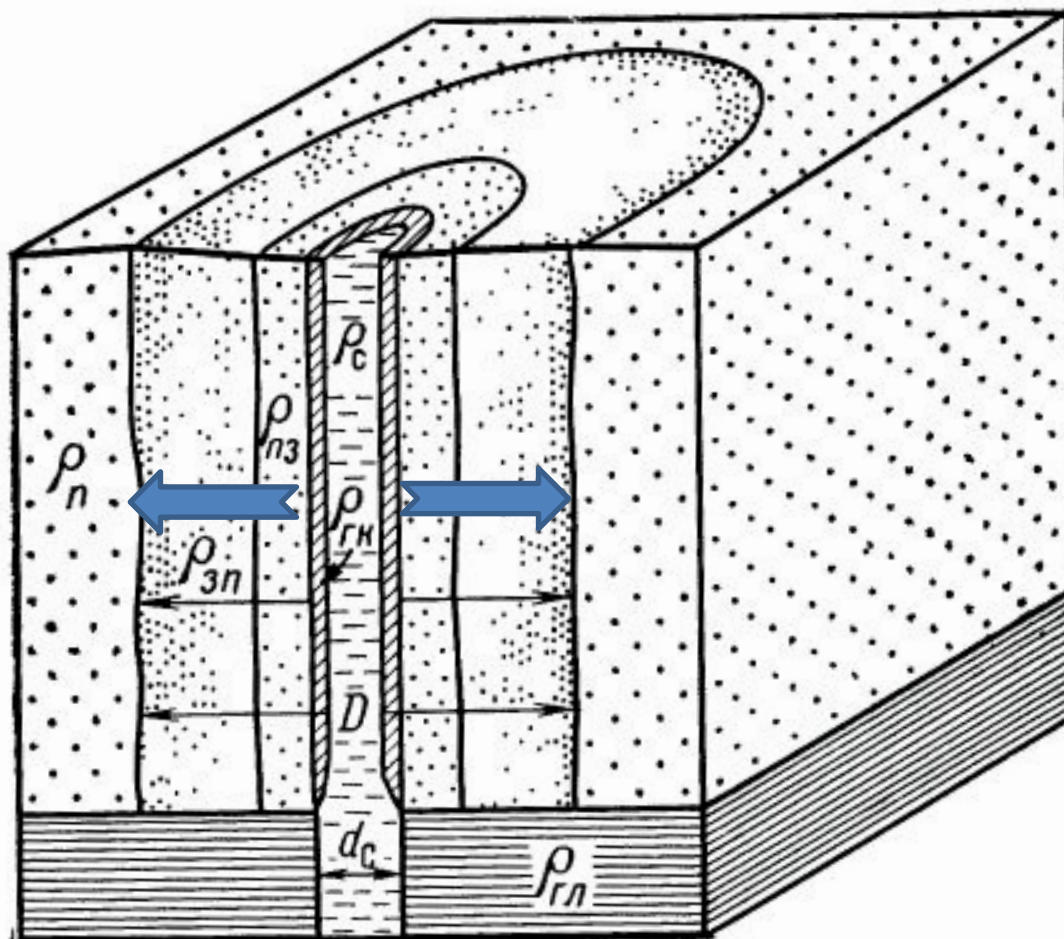
# Глубинность

## Глубинность (Радиус исследования)

- Глубина исследования ПЗ считается в 2-2.5 раза больше его длины
- Глубина исследования ГЗ считается приблизительно равна его длине



# Глубинность (радиус исследования)





# Решаемые задачи КС

- Оценка характера насыщения коллектора и установление его промышленной нефти и газоносности
- Определение кажущегося сопротивления породы
- Оценка пористости (в некоторых случаях)
- Расчленение разреза



# Ограничения метода КС

- Неприменим в обсадной колонне
- Неприменим при непроводящих ток растворах
- Имеет большие помехи в случае сильно-проводящих растворов и в высокоомных разрезах из-за утечек тока
- С увеличением размера зонда увеличивается глубинность и уменьшается разрешающая способность



# Микрозондирование

- **Метод микрозондирования (МКЗ)** заключается в детальном исследовании кажущегося сопротивления прискважинной части разреза зондами очень малой длины — микрозондами.





# Микрозондирование

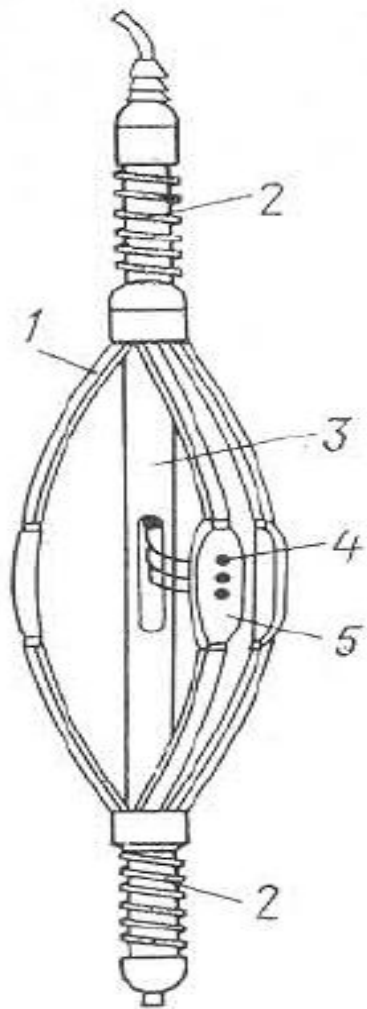


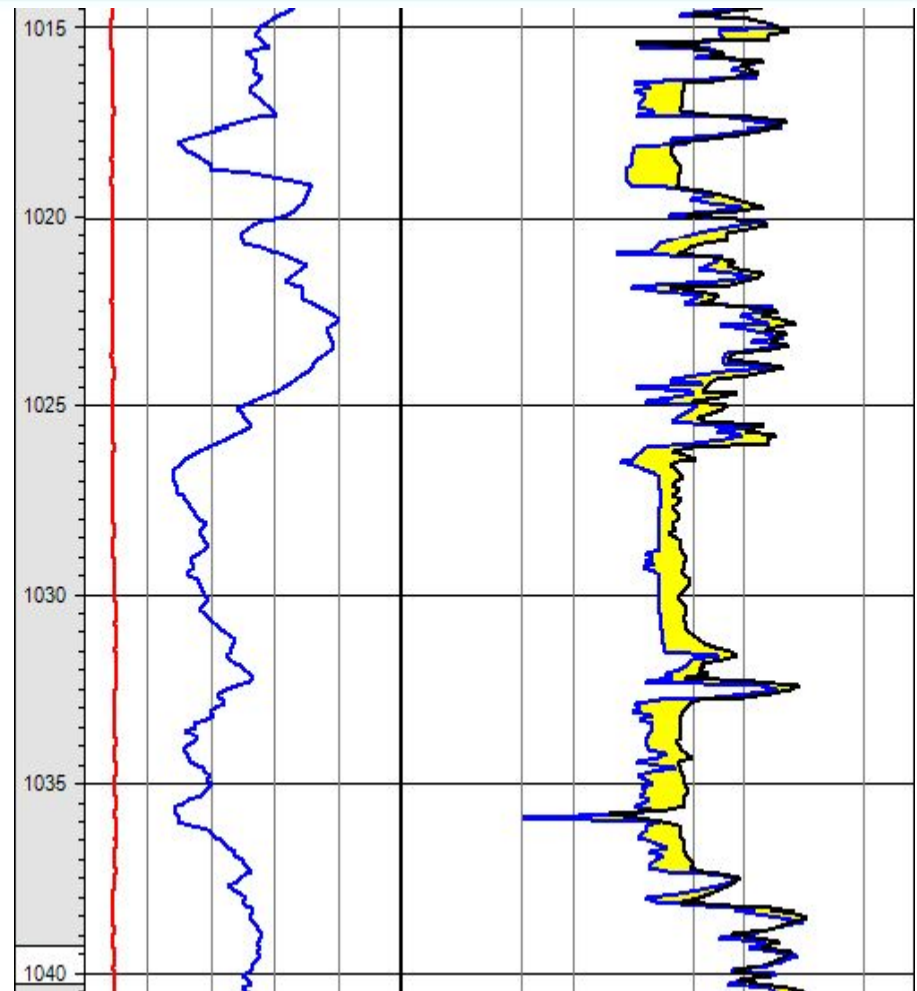
Схема конструкции микрозонда с рессорными прижимными устройствами.

- 1 – рессора;*
- 2 – пружина;*
- 3 – штанга;*
- 4 – электроды;*
- 5 – башмак.*



# Глубинность МКЗ

- градиент-микронзонда приблизительно равна его длине (3,75 см)
- потенциал-микронзонда в 2,0–2,5 раза больше его длины, т. е. 10—12 см.





# Решаемые задачи МК

- расчленение разреза с высокой точностью
- выделение коллекторов
- определение удельного электрического сопротивления промытой зоны
- оценка сопротивления промывочной жидкости в интервале каверн



# Ограничения микрокаротажа

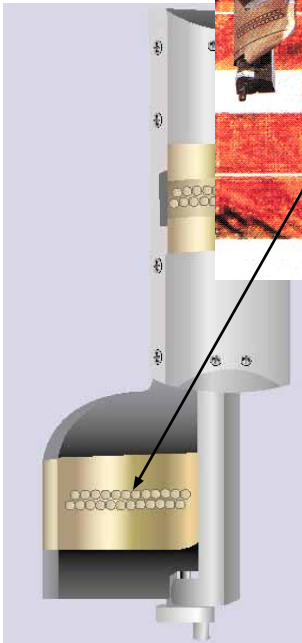
- Существенное изменение диаметра и формы сечения ствола скважины
- Наличие раствора в скважине с удельным электрическим сопротивлением менее  $0.05 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
- Неприменим в обсадной колонне



# Микроэлектрическое сканирование

FMI

Schlumberger



Static



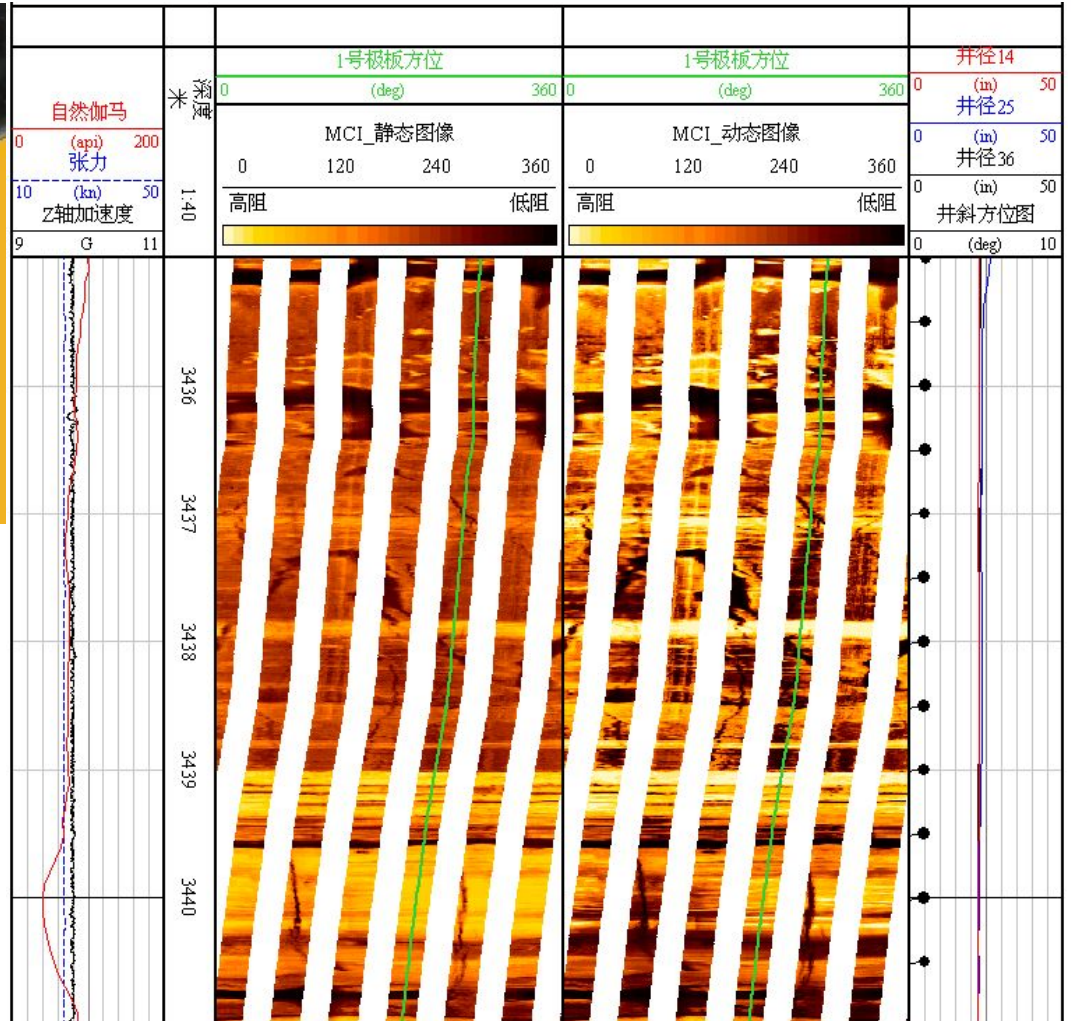
Dynamic





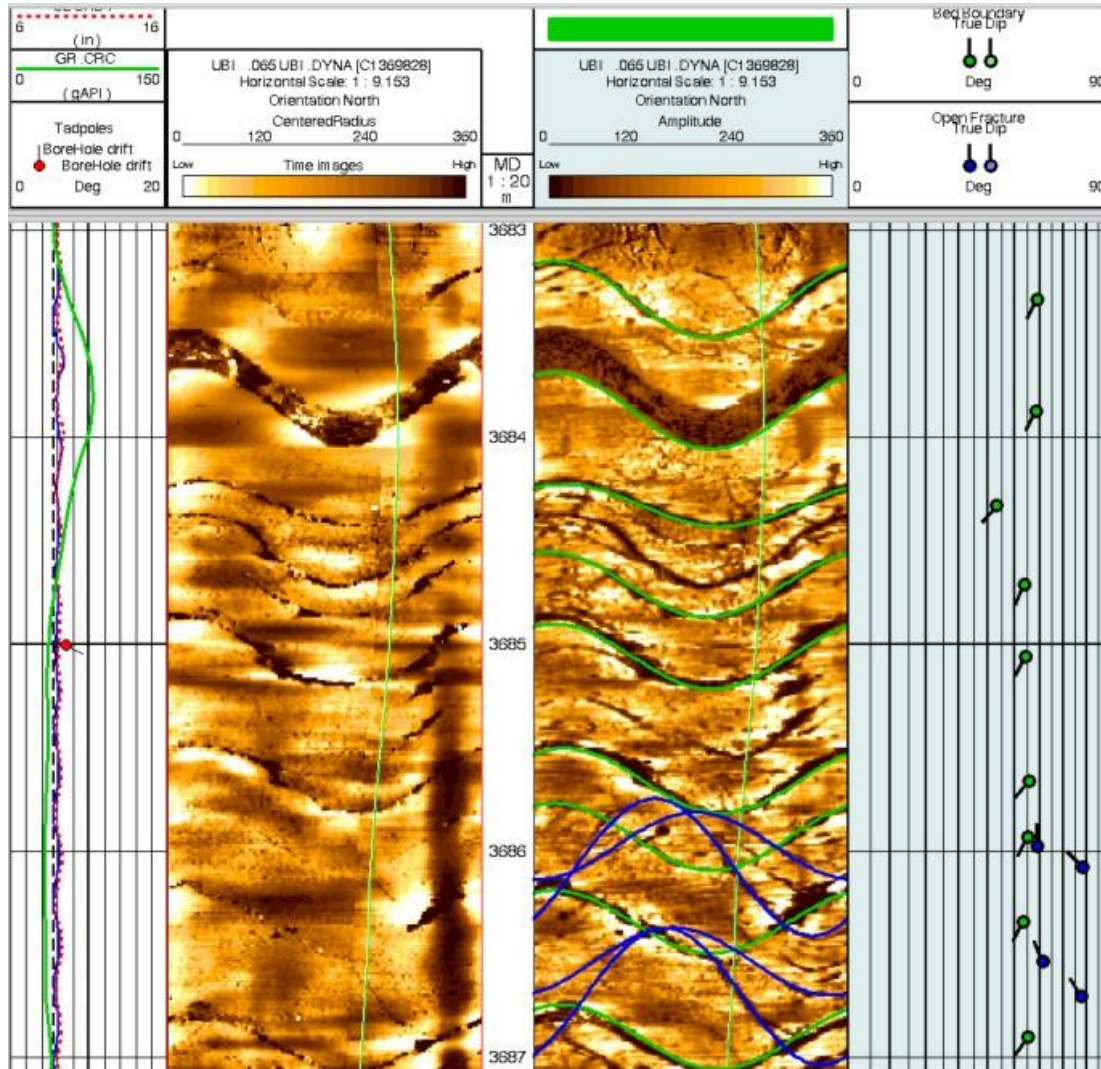


# Микроэлектрическое сканирование





# Пример FMI





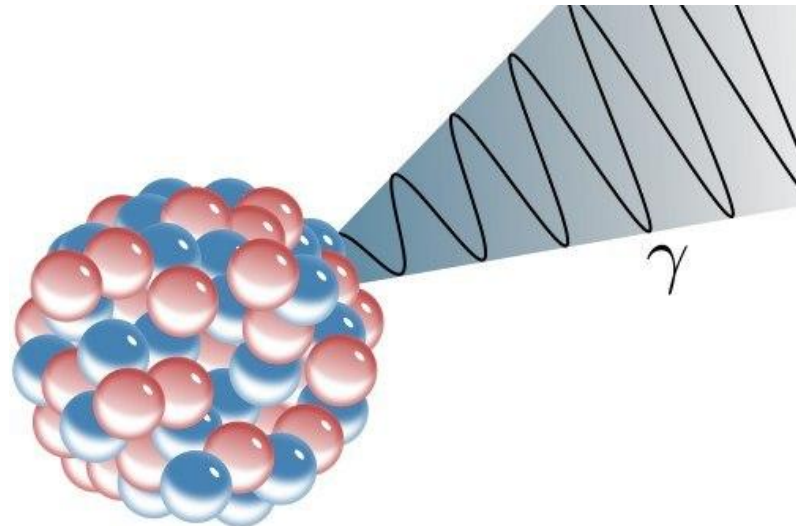
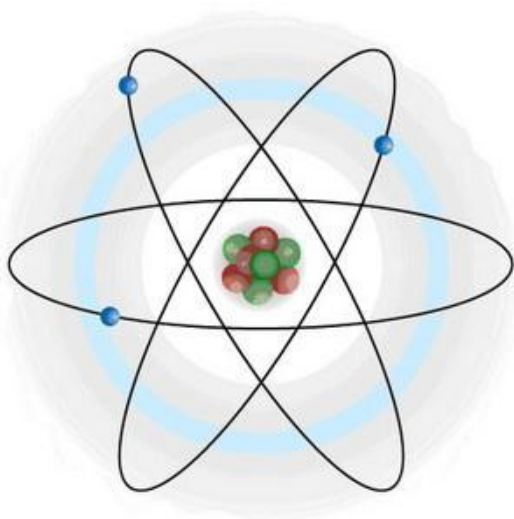
# Решаемые задачи сканирования

- Расчленение разреза с высокой точностью
- Выделение трещин
- Определение угла наклона и направления падения пластов



# Радиоактивные методы каротажа

- Гамма каротаж
- Нейтронный гамма каротаж
- Нейтрон-нейтронный каротаж
- Гамма-гамма каротаж плотностной







# Гамма каротаж

**Гамма-каротаж** основан на измерении естественной гамма - активности горных пород.

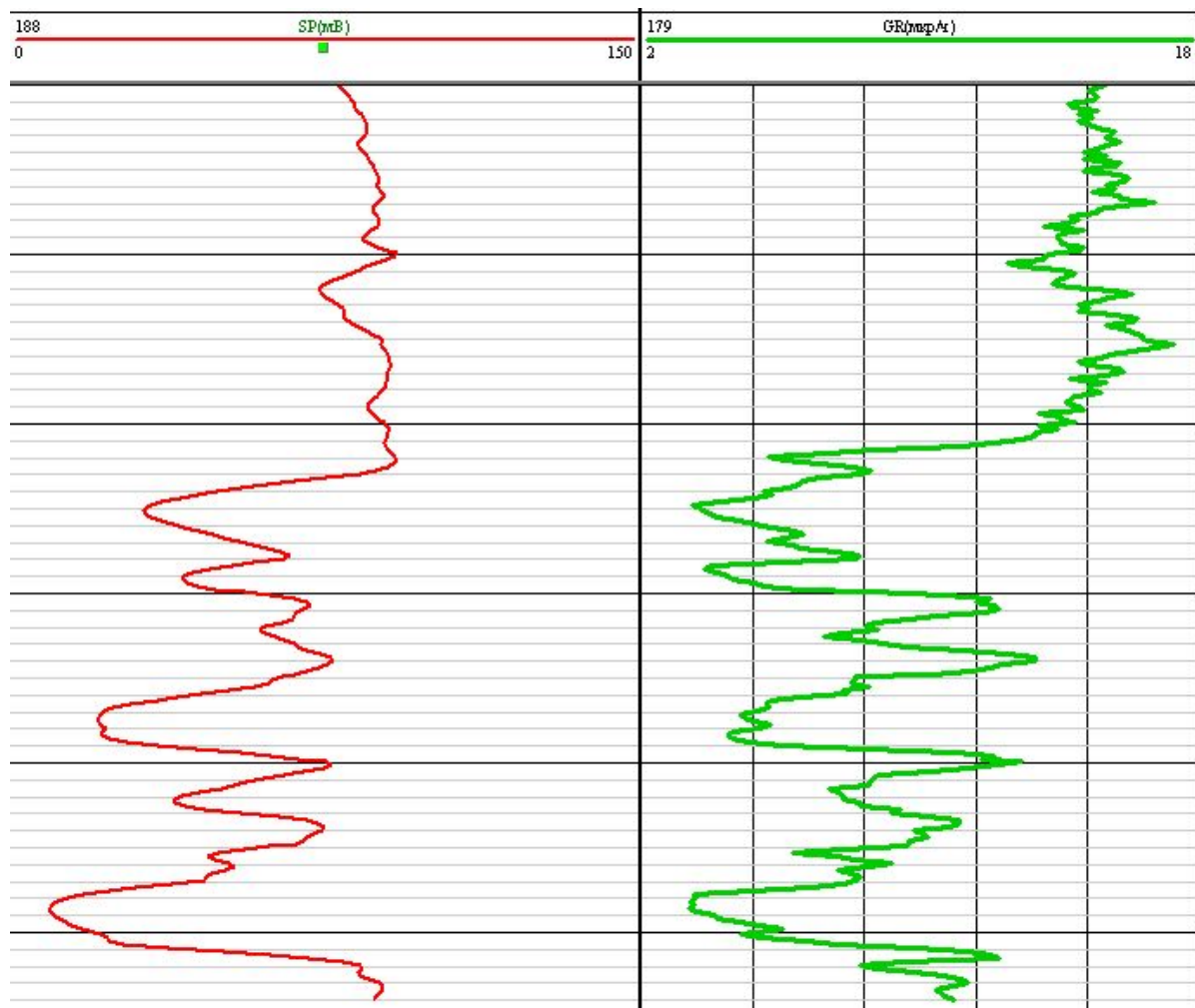
Среди осадочных пород наибольшей естественной радиоактивностью обладают глины, благодаря повышенному содержанию изотопов







# Гамма каротаж





# Решаемые задачи ГК

- Литологическое расчленение разрезов скважин;
- Определение коэффициента глинистости
- Определение типа глинистых минералов



# Ограничения метода ГК

- Повышенные значения ГК даёт небольшое содержание радиоактивных металлов в породе
- Невысокая скорость записи



# Гамма-гамма каротаж плотностной

**Методы рассеянного гамма-излучения** основаны на измерении интенсивности искусственного гамма-излучения, рассеянного породообразующими элементами в процессе их облучения потоком гамма-квантов.

Интенсивность этого излучения зависит от плотности и вещественного состава горных пород.



# Гамма-гамма каротаж плотностной

Основные процессы взаимодействия  $\gamma$ -квантов с породой:

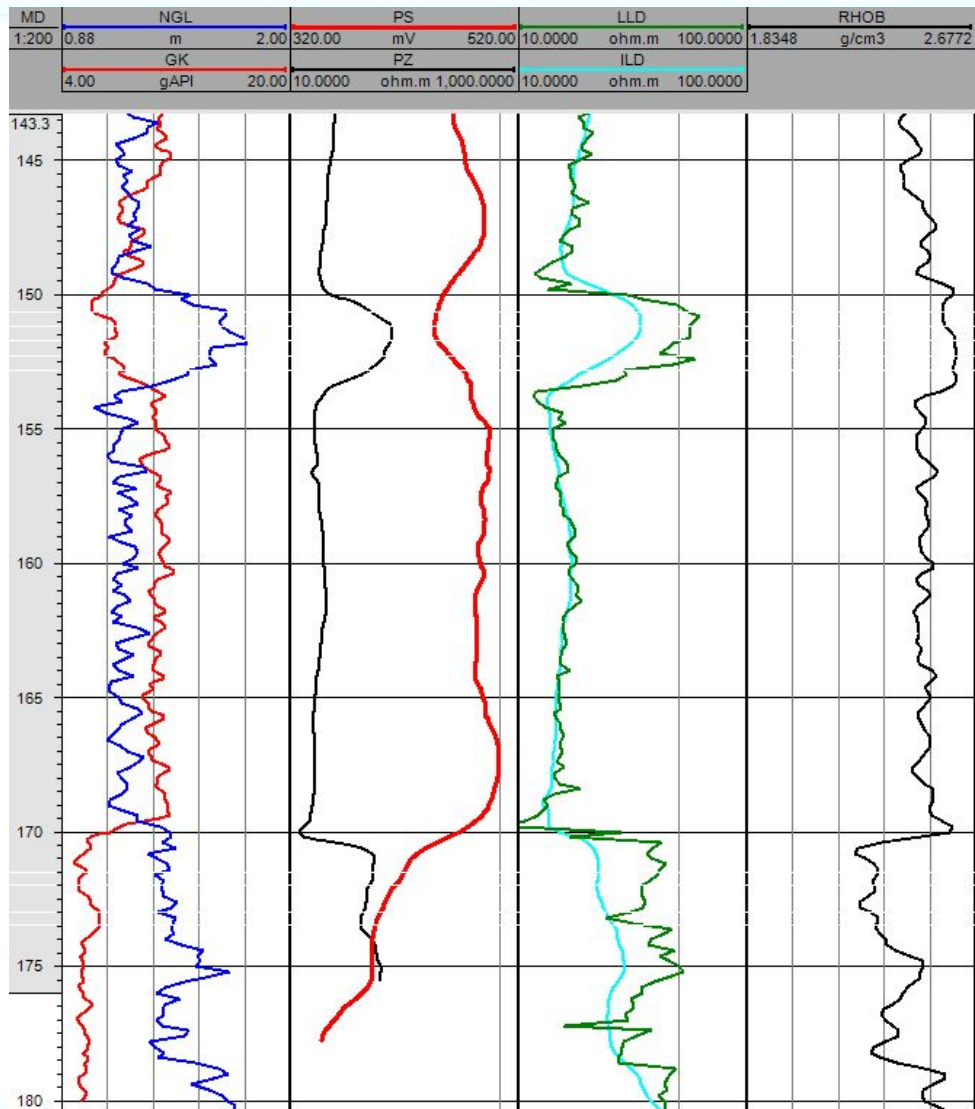
- фотоэлектрическое поглощение
- комптоновское рассеяние
- образование электронно-позитронных пар

**ГГК-П** основан на измерении жесткой составляющей рассеянного гамма-излучения, применяется для измерения плотности горных пород в разрезах скважин.





# Гамма-гамма каротаж ПЛОТНОСТНОЙ





# Решаемые задачи ГГК-п

- Определение плотности горных пород
- Оценка пористости пластов
- Литологическое расчленение разреза
- Построение синтетических сейсмограмм



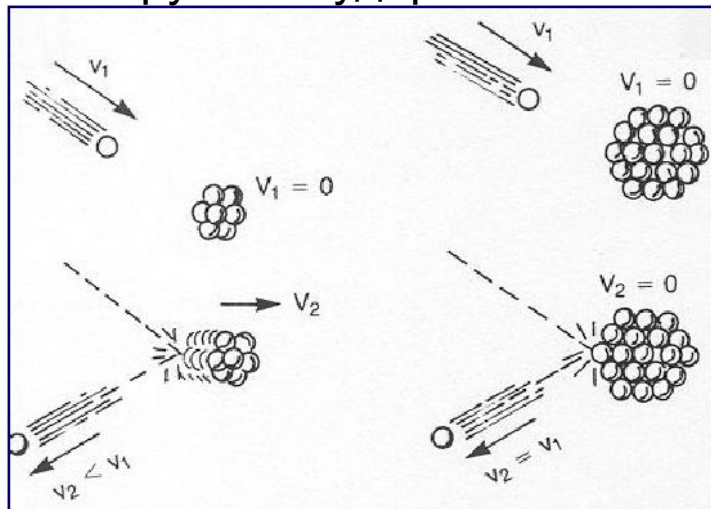
# Ограничения метода ГГК-п

- Малая глубинность (около 12 см)
- Невысокая скорость записи

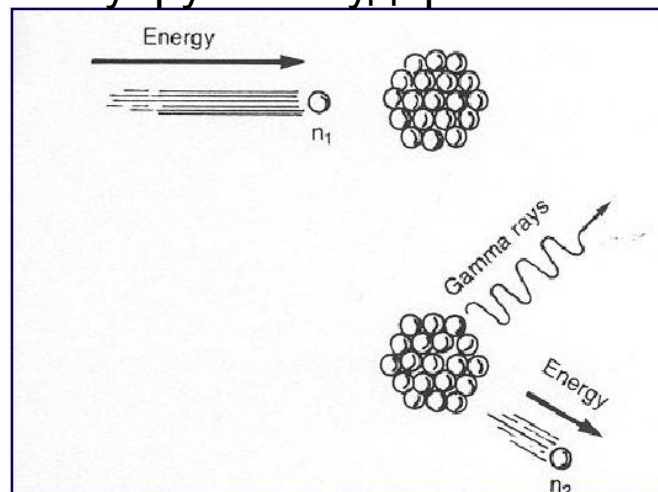


# Взаимодействие нейтронов с веществом

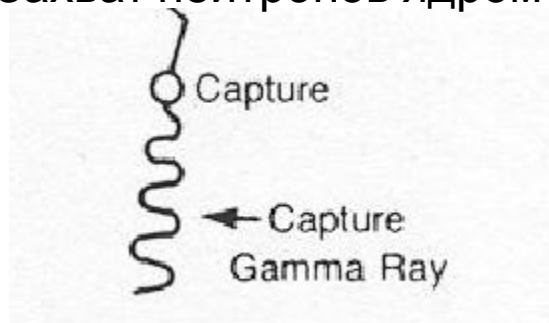
## Упругое соударение



## Неупругое соударение



## Захват нейтронов ядром





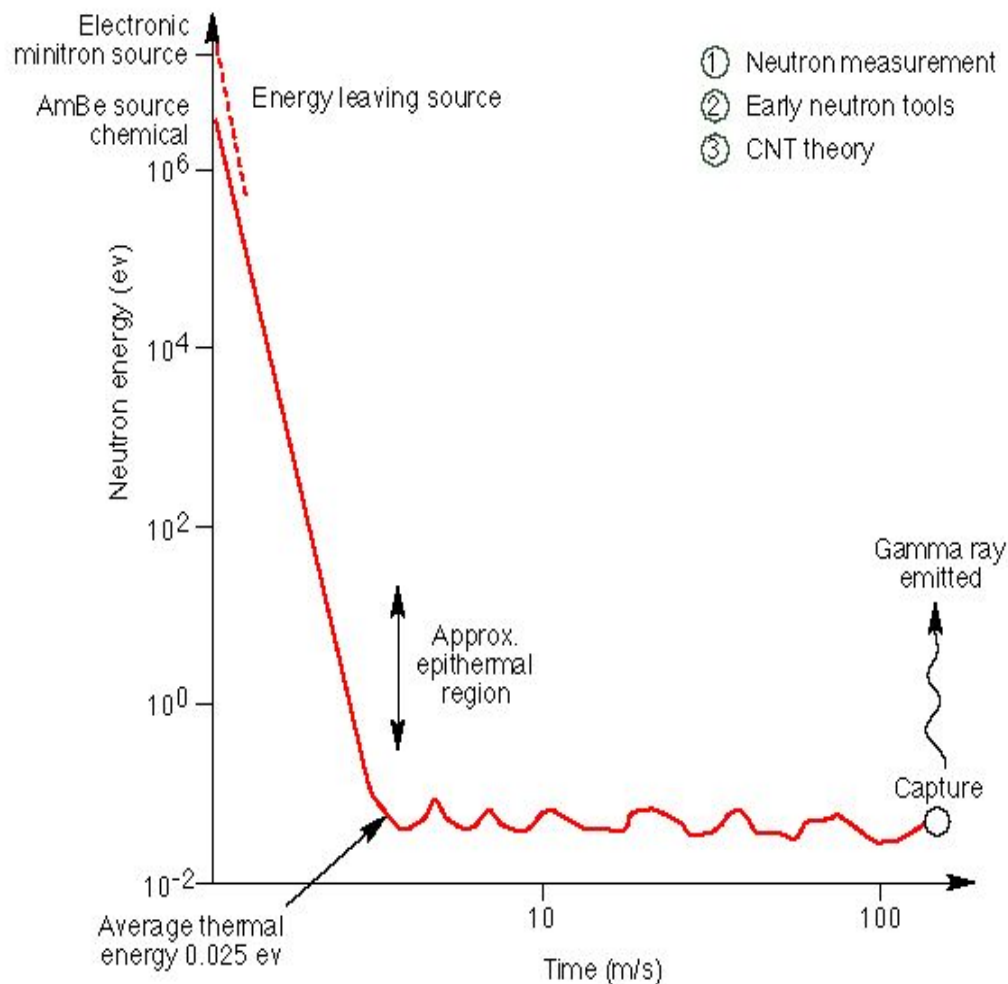
# Нейтронный каротаж

Из источника испускаются **быстрые нейтроны**.

В среде они быстро **теряют энергию** в результате столкновений с атомами породы.

Наибольшие потери происходят при столкновении с атомами **водорода**.

После того, как электрон становится тепловым он **поглощается ядром (C1)**, которое переходит в возбуждённое состояние







# Нейтронный каротаж

## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

www.calc.ru

Периоды	Ряды	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ																Энергетический уровень		
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII				
		a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	a	б	a	б			
1	1	<b>H</b> водород 1,008																<b>He</b> гелий 4,003	2	
2	2	<b>Li</b> литий 6,941	<b>Be</b> бериллий 9,0122	<b>B</b> бор 10,811	<b>C</b> углерод 12,011	<b>N</b> азот 14,007	<b>O</b> кислород 15,999	<b>F</b> фтор 18,998										<b>Ne</b> неон 20,179	10	
3	3	<b>Na</b> натрий 22,99	<b>Mg</b> магний 24,312	<b>Al</b> алюминий 26,982	<b>Si</b> кремний 28,086	<b>P</b> фосфор 30,974	<b>S</b> сера 32,064	<b>Cl</b> хлор 35,453										<b>Ar</b> аргон 39,948	18	
4	4	<b>K</b> калий 39,102	<b>Ca</b> кальций 40,08	<b>Sc</b> скандий 44,956	<b>Ti</b> титан 47,867	<b>V</b> ванадий 50,942	<b>Cr</b> хром 51,996	<b>Mn</b> марганец 54,938	<b>Fe</b> железо 55,847	<b>Co</b> кобальт 58,933	<b>Ni</b> никель 58,71							<b>Kr</b> криптон 83,8	36	
	5	<b>Cu</b> медь 63,546	<b>Zn</b> цинк 65,37	<b>Ga</b> галлий 69,72	<b>Ge</b> германий 72,59	<b>As</b> мышьяк 74,922	<b>Se</b> селен 78,96	<b>Br</b> бром 79,904											<b>Rb</b> рубидий 85,468	37
5	6	<b>Rb</b> рубидий 85,468	<b>Sr</b> стронций 87,62	<b>Y</b> иттрий 88,906	<b>Zr</b> цирконий 91,224	<b>Nb</b> ниобий 92,906	<b>Mo</b> молибден 95,94	<b>Tc</b> технеций [99]	<b>Ru</b> рутений 101,07	<b>Rh</b> родий 102,906	<b>Pd</b> палладий 106,4							<b>Xe</b> ксенон 131,3	54	
	7	<b>Ag</b> серебро 107,868	<b>Cd</b> кадмий 112,41	<b>In</b> индий 114,82	<b>Sn</b> олово 118,69	<b>Sb</b> сурьма 121,75	<b>Te</b> теллур 127,6	<b>I</b> йод 126,905											<b>Cs</b> цезий 132,905	55
6	8	<b>Cs</b> цезий 132,905	<b>Ba</b> барий 137,34	лантаноиды			<b>Hf</b> гафний 178,49	<b>Ta</b> тантал 180,948	<b>W</b> вольфрам 183,85	<b>Re</b> рений 186,207	<b>Os</b> осний 190,2	<b>Ir</b> иридий 192,22	<b>Pt</b> платина 195,09						<b>Rn</b> радон [222]	86
	9	<b>Au</b> золото 196,967	<b>Hg</b> ртуть 200,59	<b>Tl</b> таллий 204,37	<b>Pb</b> свинец 207,19	<b>Bi</b> висмут 208,98	<b>Po</b> полоний [210]	<b>At</b> астат [210]												
7	10	<b>Fr</b> франций [223]	<b>Ra</b> радий [226]	актиноиды			<b>Rf</b> резерфордий [261]	<b>Db</b> дубний [262]	<b>Sg</b> сиборгий [263]	<b>Bh</b> борий [262]	<b>Hn</b> ханний [265]	<b>Mt</b> мейтнерий [266]	<b>110</b>							
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R <sub>2</sub> O		RO		R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		RO <sub>2</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		RO <sub>3</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>				
ЛЕТУЧЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ						RH <sub>4</sub>		RH <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> R		HR								



Д.И. Менделеев  
1834-1907

СИМВОЛ ЭЛЕМЕНТА      ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

**Rb** 37  
рубидий  
85,468

НАЗВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПО СЛОЯМ

- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

### ЛАНТАНОИДЫ

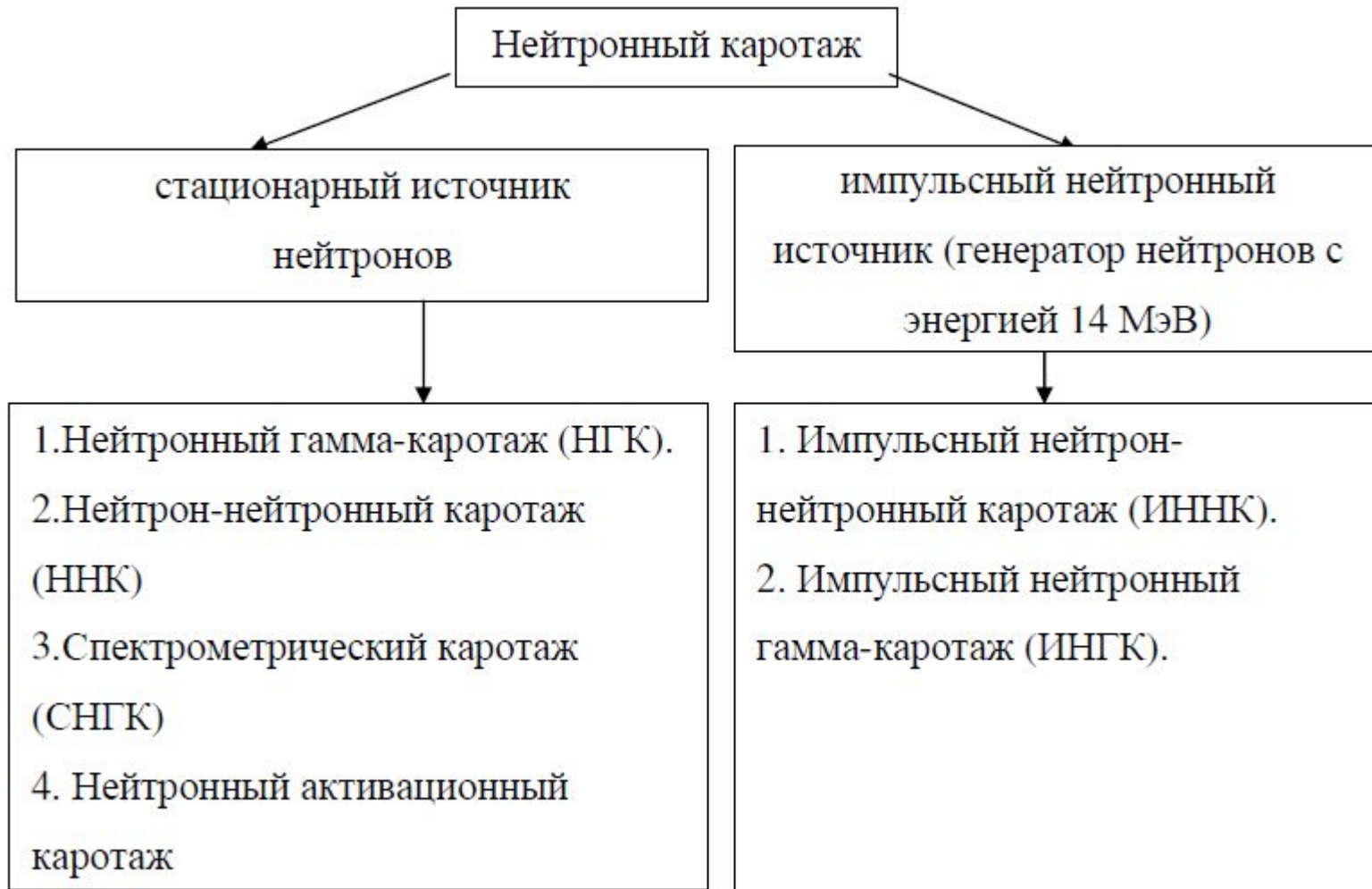
57 <b>La</b> лантан 138,905	58 <b>Ce</b> церий 140,12	59 <b>Pr</b> празеодим 140,908	60 <b>Nd</b> неодим 144,24	61 <b>Pm</b> прометий [145]	62 <b>Sm</b> самарий 150,4	63 <b>Eu</b> европий 151,96	64 <b>Gd</b> гадолиний 157,25	65 <b>Tb</b> тербий 158,926	66 <b>Dy</b> диспрозий 162,5	67 <b>Ho</b> гольмий 164,93	68 <b>Er</b> эрбий 167,26	69 <b>Tm</b> тулий 168,934	70 <b>Yb</b> иттербий 173,04	71 <b>Lu</b> лютеций 174,97
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

### АКТИНОИДЫ

89 <b>Ac</b> актиний [227]	90 <b>Th</b> торий 232,038	91 <b>Pa</b> протактиний [231]	92 <b>U</b> уран 238,029	93 <b>Np</b> нептуний [237]	94 <b>Pu</b> плутоний [244]	95 <b>Am</b> амерций [243]	96 <b>Cm</b> кирций [247]	97 <b>Bk</b> берклий [247]	98 <b>Cf</b> калифорний [251]	99 <b>Es</b> эйнштейний [254]	100 <b>Fm</b> фермий [257]	101 <b>Md</b> менделевий [258]	102 <b>No</b> нобелий [259]	103 <b>Lr</b> лоуренсий [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------



# Нейтронный каротаж





# Нейтронный гамма каротаж

## Нейтронный гамма каротаж

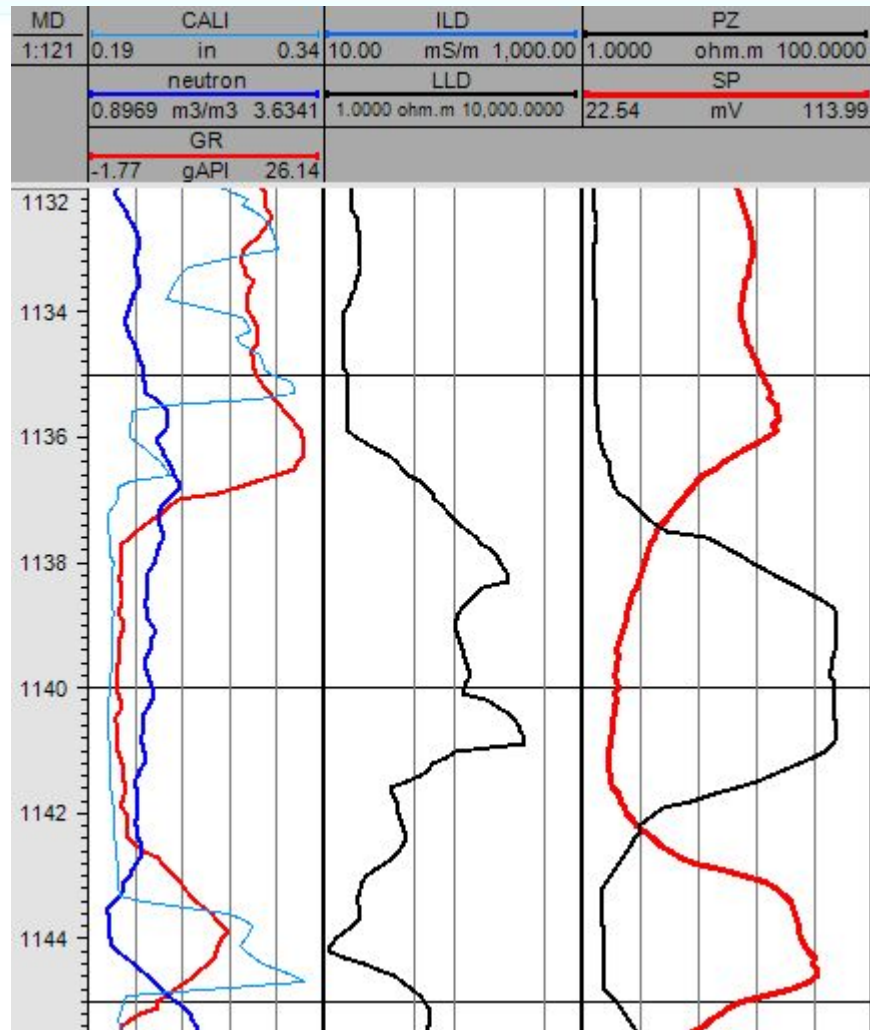
метод исследований скважин, основанный на облучении горных пород быстрыми нейтронами и регистрации гамма-излучения, возникающего при захвате тепловых нейтронов в горной породе.

Показания НГК отвечают водородосодержанию

$$K_n = f(w)$$



# Нейтронный гамма каротаж





# Акустический каротаж

Акустические (звуковые) волны представляют собой упругие механические возмущения, которые распространяются с конечной скоростью в твердых, жидких и газообразных телах и осуществляют перенос энергии без переноса вещества.

Свойства упругих волн зависят от формы движения частиц.

**Акустические (звуковые) волны** представляют собой упругие механические возмущения, которые распространяются с конечной скоростью в твердых, жидких и газообразных телах и осуществляют перенос энергии без переноса вещества.

Свойства упругих волн зависят от формы движения частиц.

Основные параметры, характеризующие распространение упругих волн в среде:

- скорость распространения волны  $v$
- обратная ей величина - интервальное время  $\Delta t$
- амплитуда волны  $A$
- эффективное затухание  $\alpha$
- частота  $f$  и связанная с ней длина волны  $\lambda$





# Акустический каротаж

Волны бывают:

**продольные Р-волны** (колебания частиц  
волны

происходят в направлении  
распространения волны, создавая области  
разряжения и сжатия)

**поперечные S-волны** (колебания частиц  
среды происходит перпендикулярно  
направлению  
распространения волны).



# Акустический каротаж

**Акустический каротаж (АК) по скорости** основан на изучении распространения упругих волн в горных породах, вскрываемых скважинами, путем измерения интервального времени ( $\Delta t$ ).

Для измерения скорости головной продольной волны регистрируют времена ее вступления  $t_1$  и  $t_2$  на первом и втором приемниках.

Интервальное время (мкс)  $\Delta t = t_1 - t_2$  и интервальную скорость  $v_p = l/\Delta t$ ,

где  $l$  — расстояние между приемниками.

В породах постоянного литологического состава  $\Delta t$  зависит от пористости пород, плотности, характеристик флюидов.



# Акустический каротаж

АК по затуханию основан на изучении характеристик затухания упругих волн в породах.

Регистрируют амплитуды колебаний  $A_1$  и  $A_2$  и определяют коэффициент поглощения энергии (параметр затухания)  $\alpha$  ( $\text{м}^{-1}$ ) на участке породы между элементами зонда:

$$\alpha = (1/l) \ln(A_1 / A_2)$$

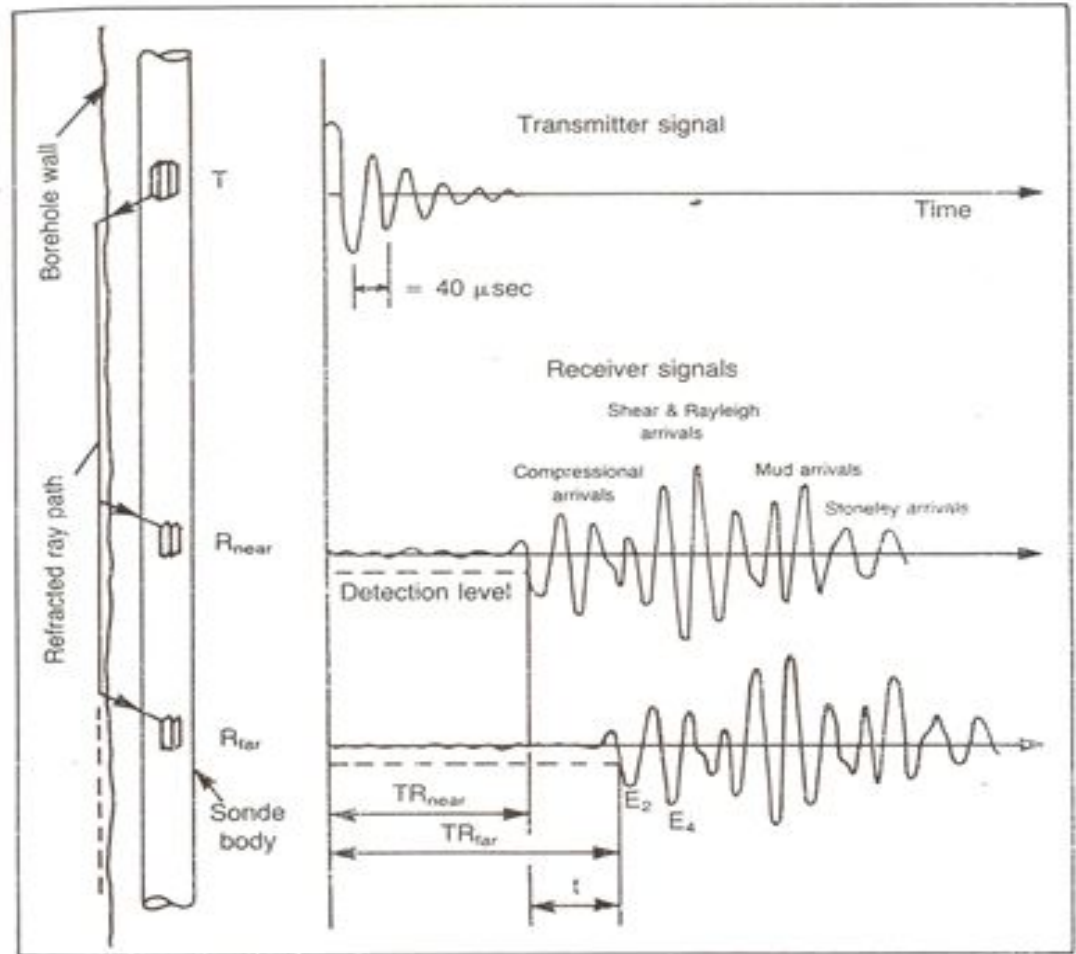
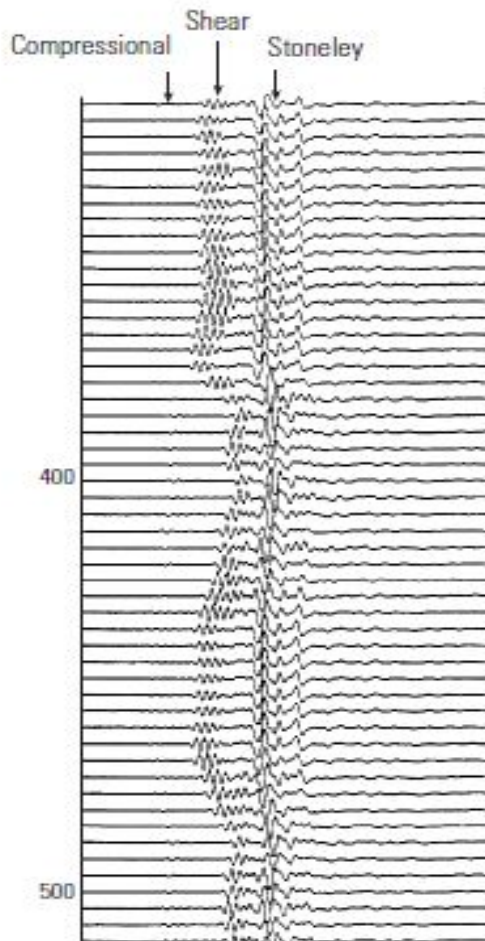
Происходит по следующим причинам:

поглощения из-за неидеально упругой среды;  
расхождения энергии во все больший объем среды;  
рассеяние и дифракция волн.

**Зависит от глинистости, характера насыщения, трещиноватости, кавернозности пород.**

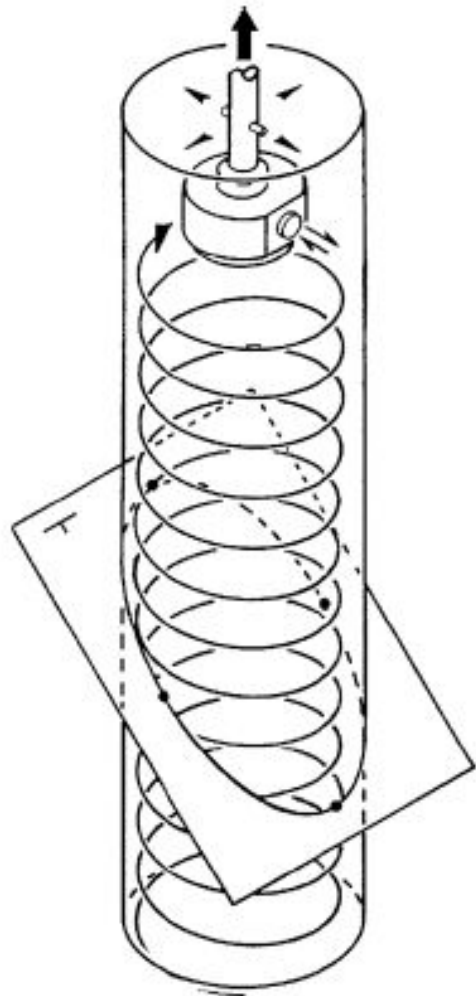


# Акустический каротаж





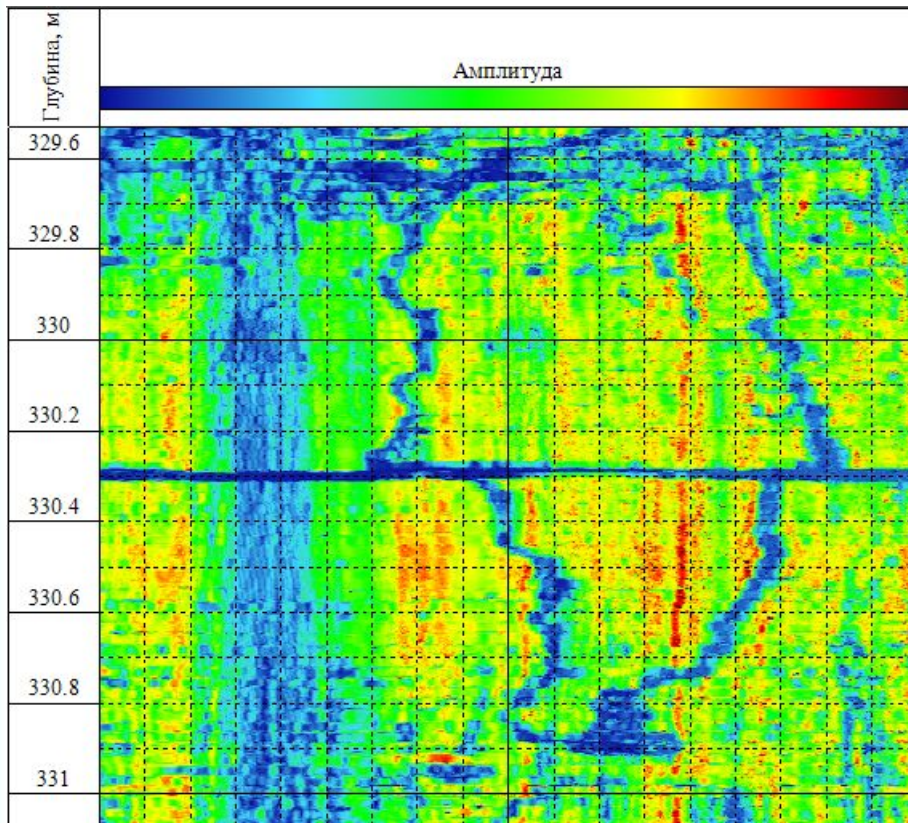
# Скважинное акустическое сканирование







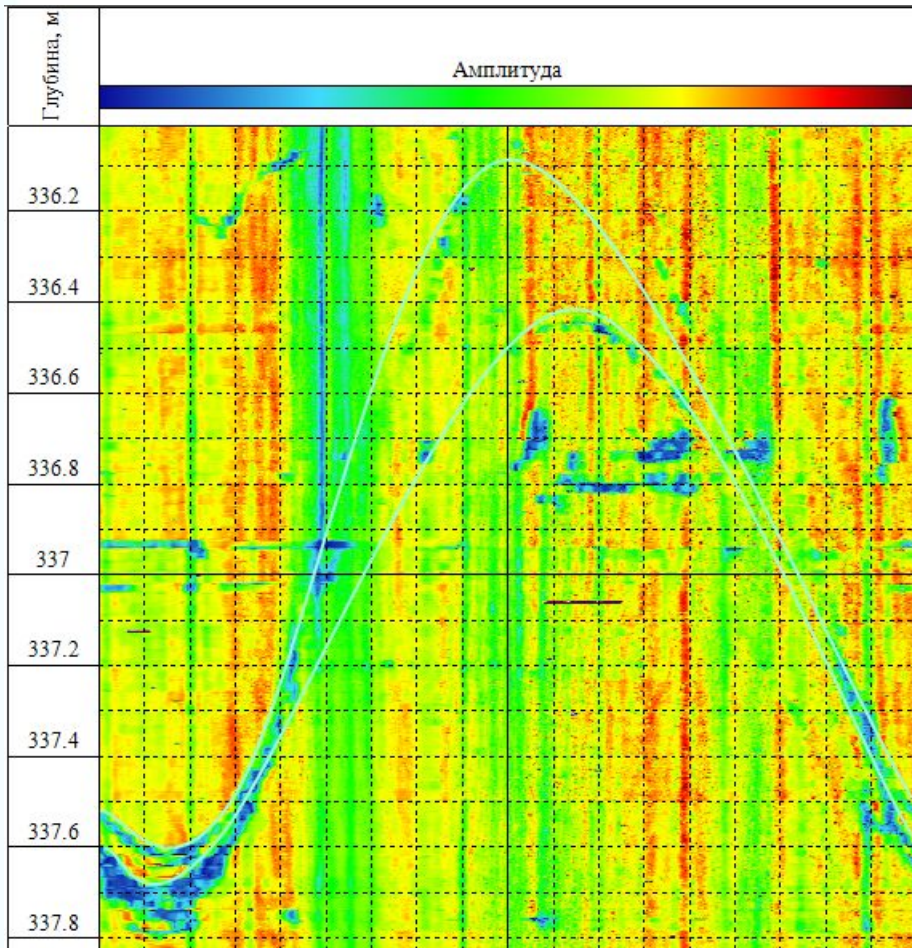
# Скважинное акустическое сканирование







# Скважинное акустическое сканирование





# Решаемые задачи АК

- Литологическое расчленение разреза
- Выделение пластов коллекторов
- Определение характера насыщения пластов
- Оценка коэффициента пористости пород
- Определения положения ГЖК
- Построение синтетических сейсмограмм.



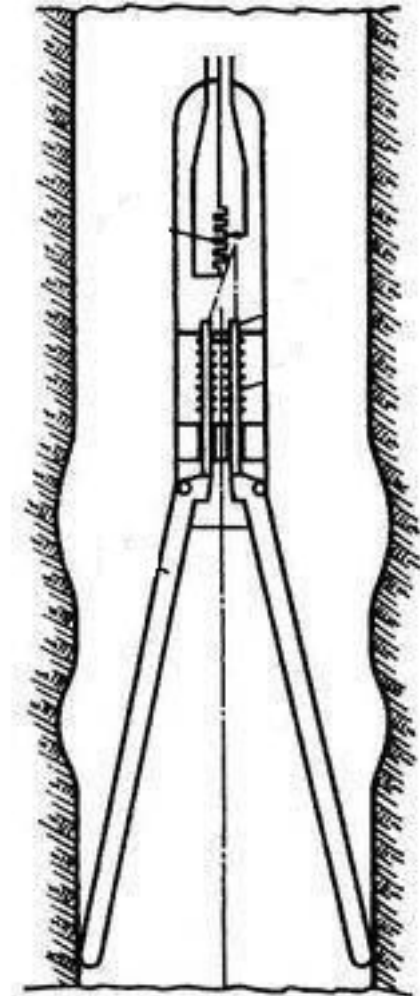
# Ограничения метода АК

- Невысокая скорость записи
- Высокий газовый фактор



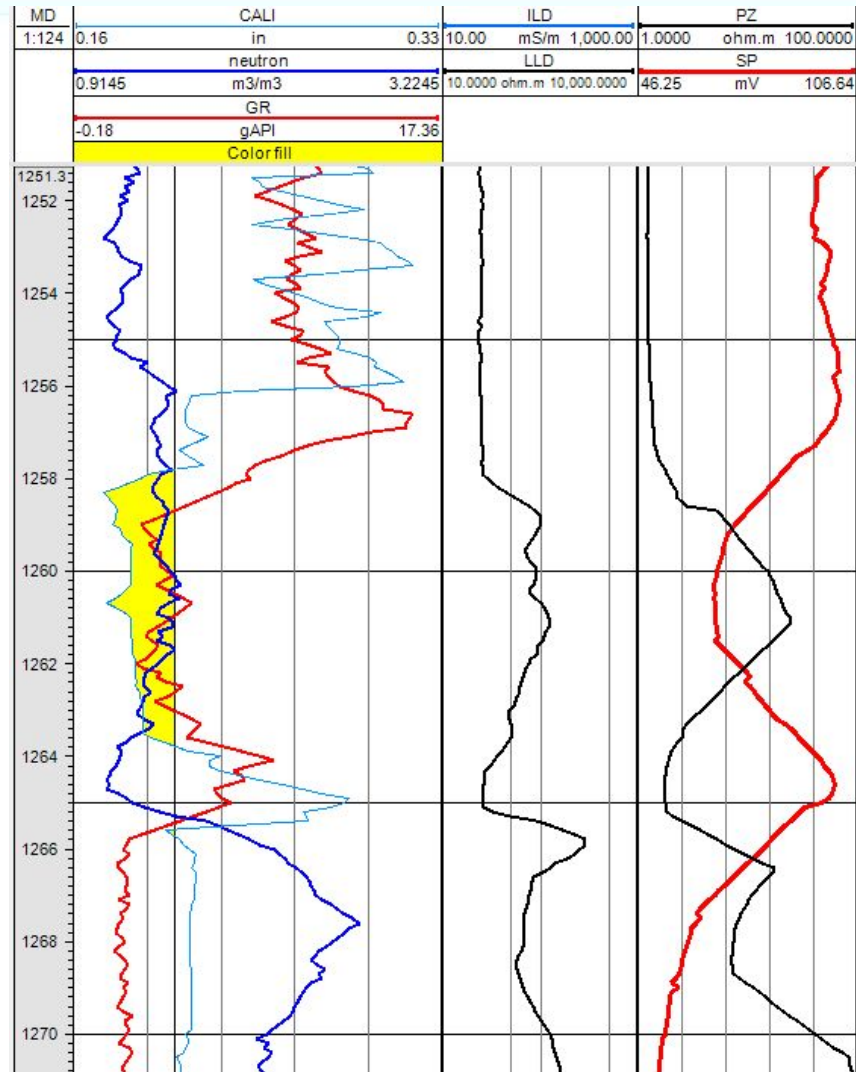
# Измерение диаметра скважины

- **Кавернометрия** (от лат. caverna — пещера, полость) -измерения, в результате которых получают кривую изменения диаметра бурящейся скважины с глубиной — кавернограмму.
- **Профилеметрия** - определение размеров и формы поперечного сечения скважины и их изменений с глубиной.





# Пример каротажной диаграммы ДС







# Решаемые задачи ДС

- Расчёт объема затрубного пространства при определении количества цемента, требующегося для цементирования обсадных колонн;
- Выявление наиболее благоприятных участков скважин для установки башмака колонны, фильтров или испытателя пластов;
- Контроль состояния ствола скважины в процессе бурения;
- Введение поправок в методы ГИС (БКЗ, нейтронных и др);
- Уточнение геологического разреза скважины (определение литологии, выделение коллекторов и др).

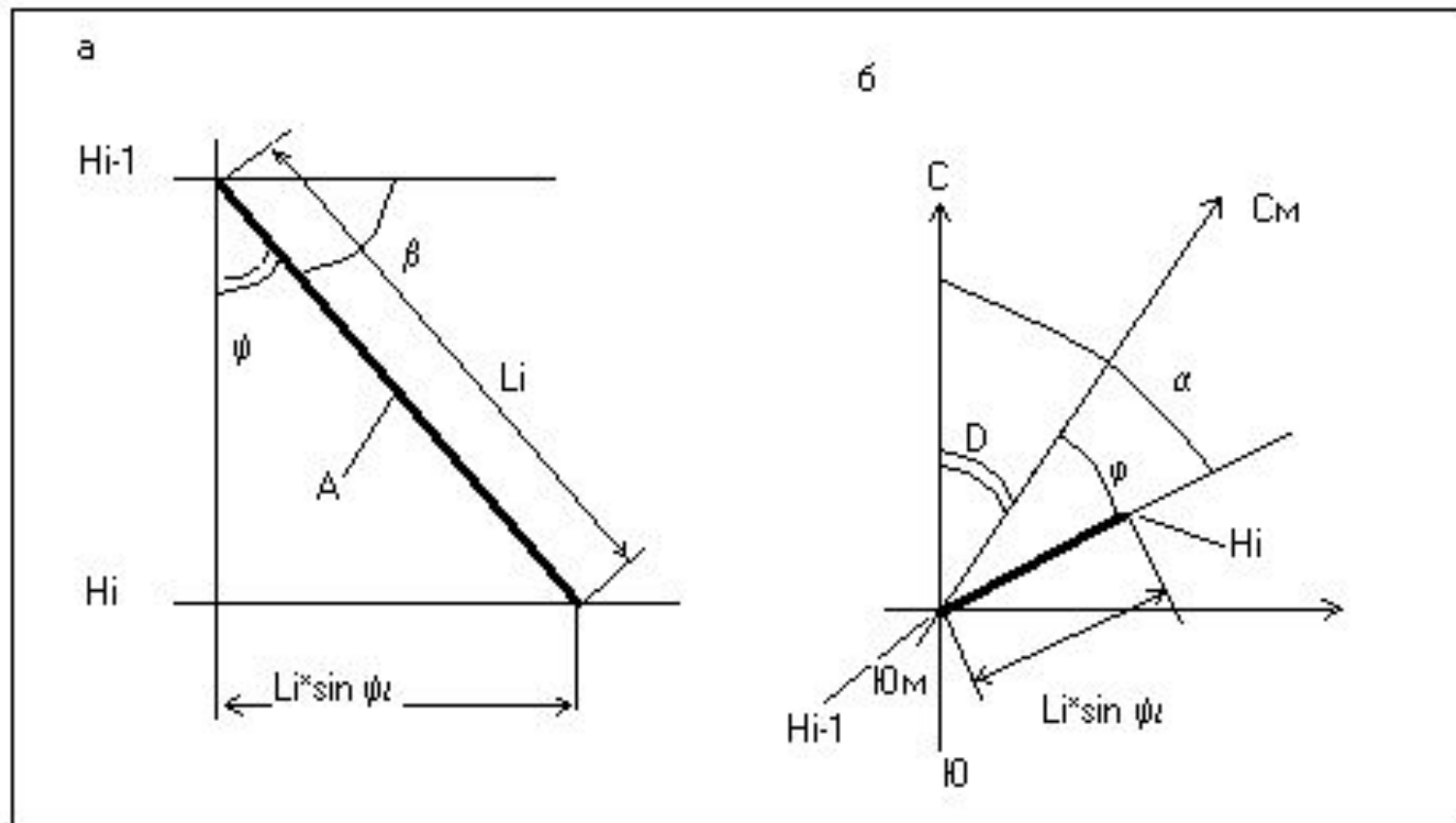


# Инклинометрия

- **Инклинометрия** (directional survey, inclinometer survey) — определение пространственного положения ствола бурящейся скважины.



# Инклинометрия





# Каротаж в процессе бурения

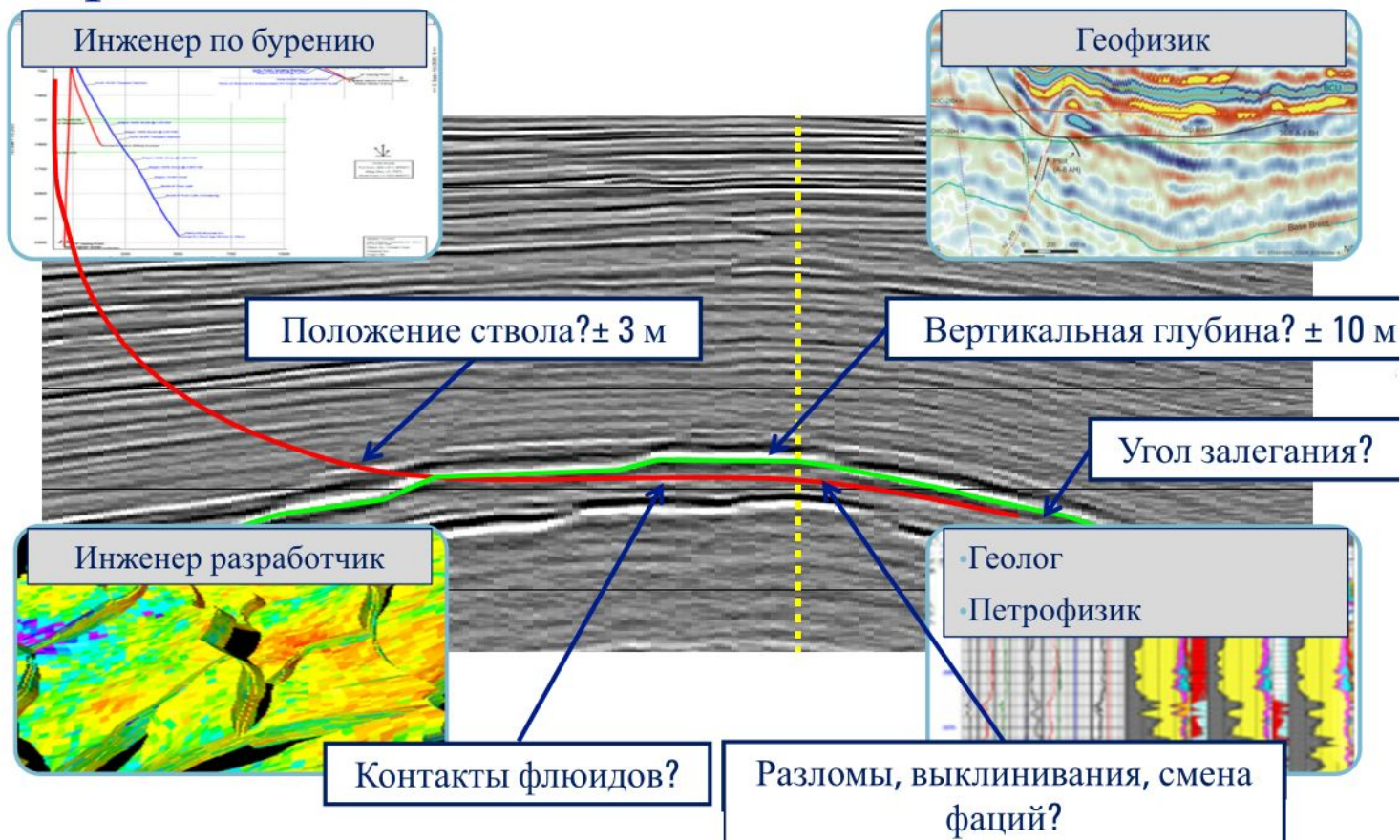
- LWD
- MWD





# Каротаж в процессе бурения

## Неопределенности при бурении горизонтальных скважин







# Каротаж в процессе бурения

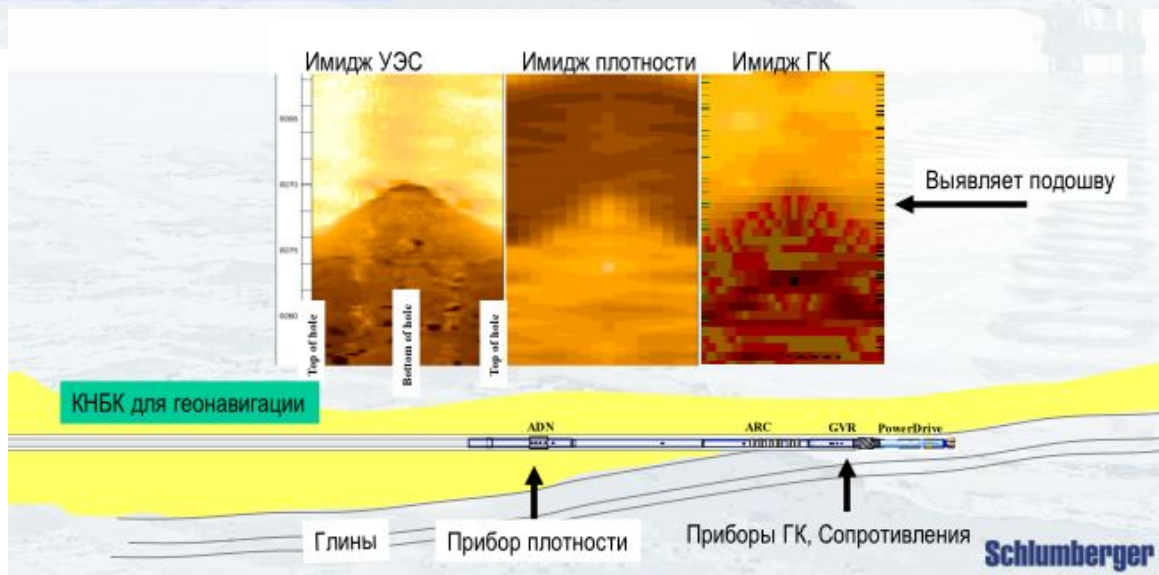
## Забойное оборудование





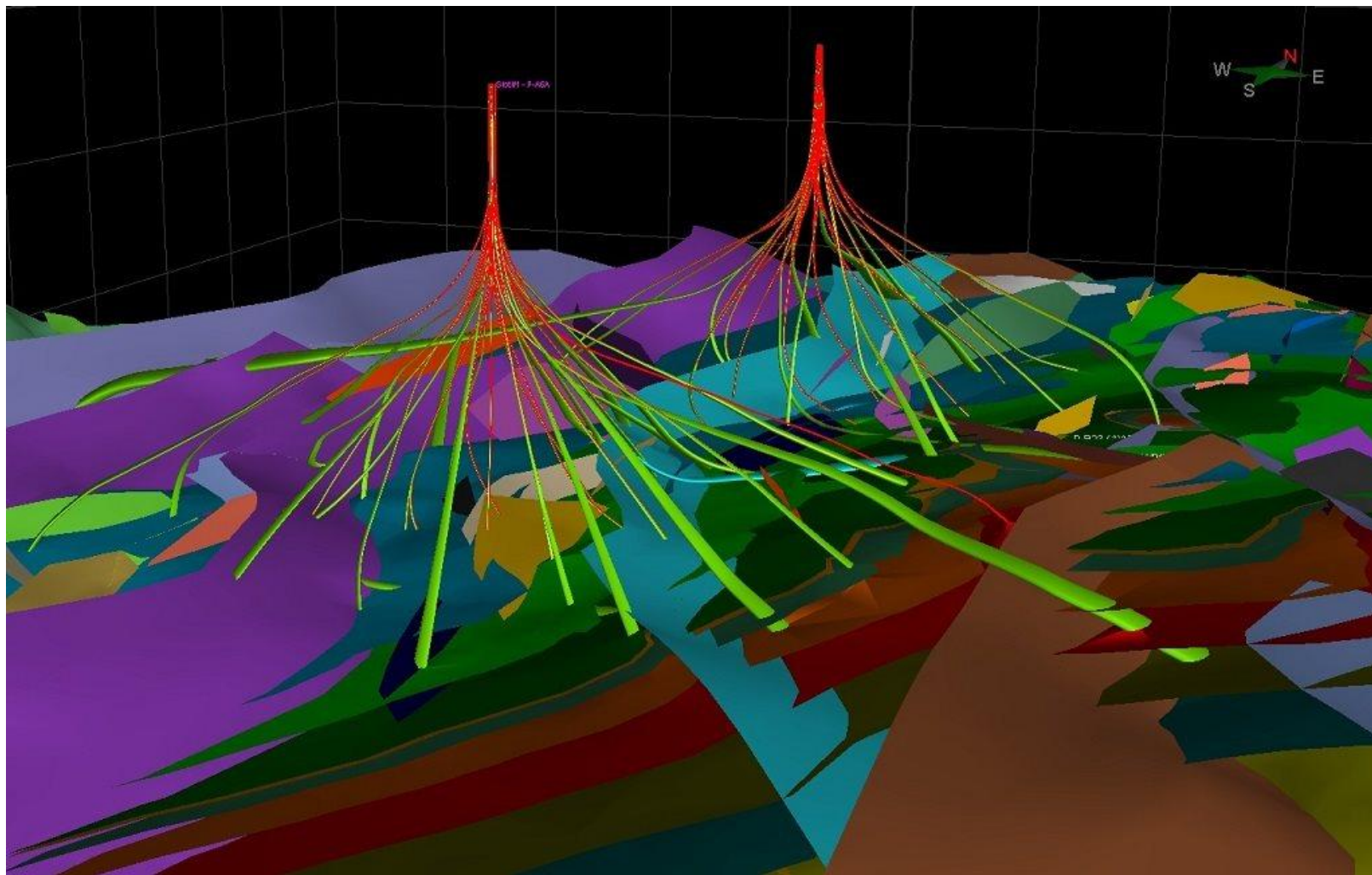


# Каротаж в процессе бурения





# Каротаж в процессе бурения





# Геолого-технологические исследования

Основными объектами информации являются:

- промывочная жидкость
- шлам
- параметры гидравлической и талевой системы буровой установки







# Газовый каротаж

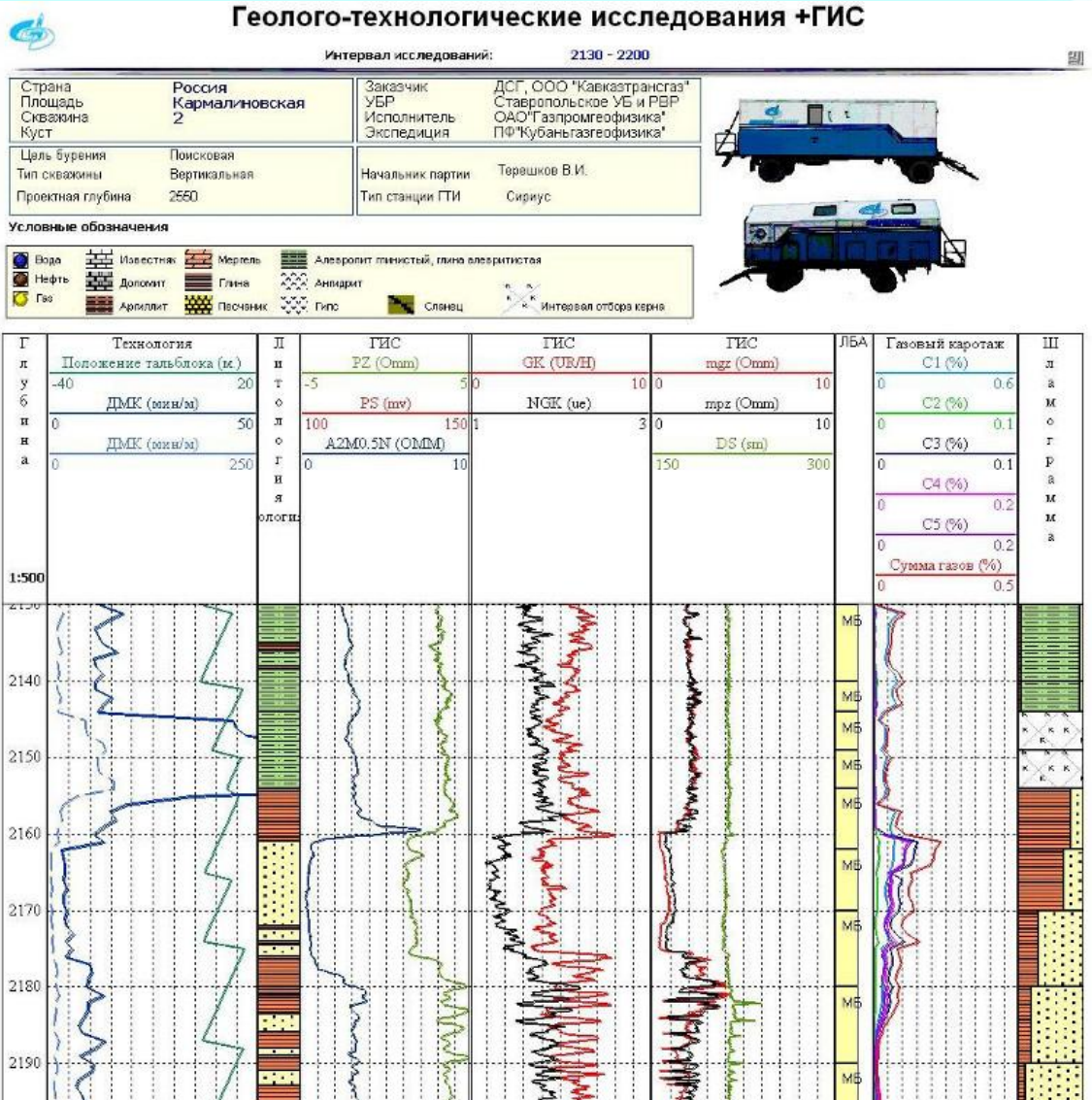
**Газовый каротаж** основан на изучении содержания и состава углеводородных газов и битумов в промывочной жидкости.



# Газовый каротаж

Природный газ:

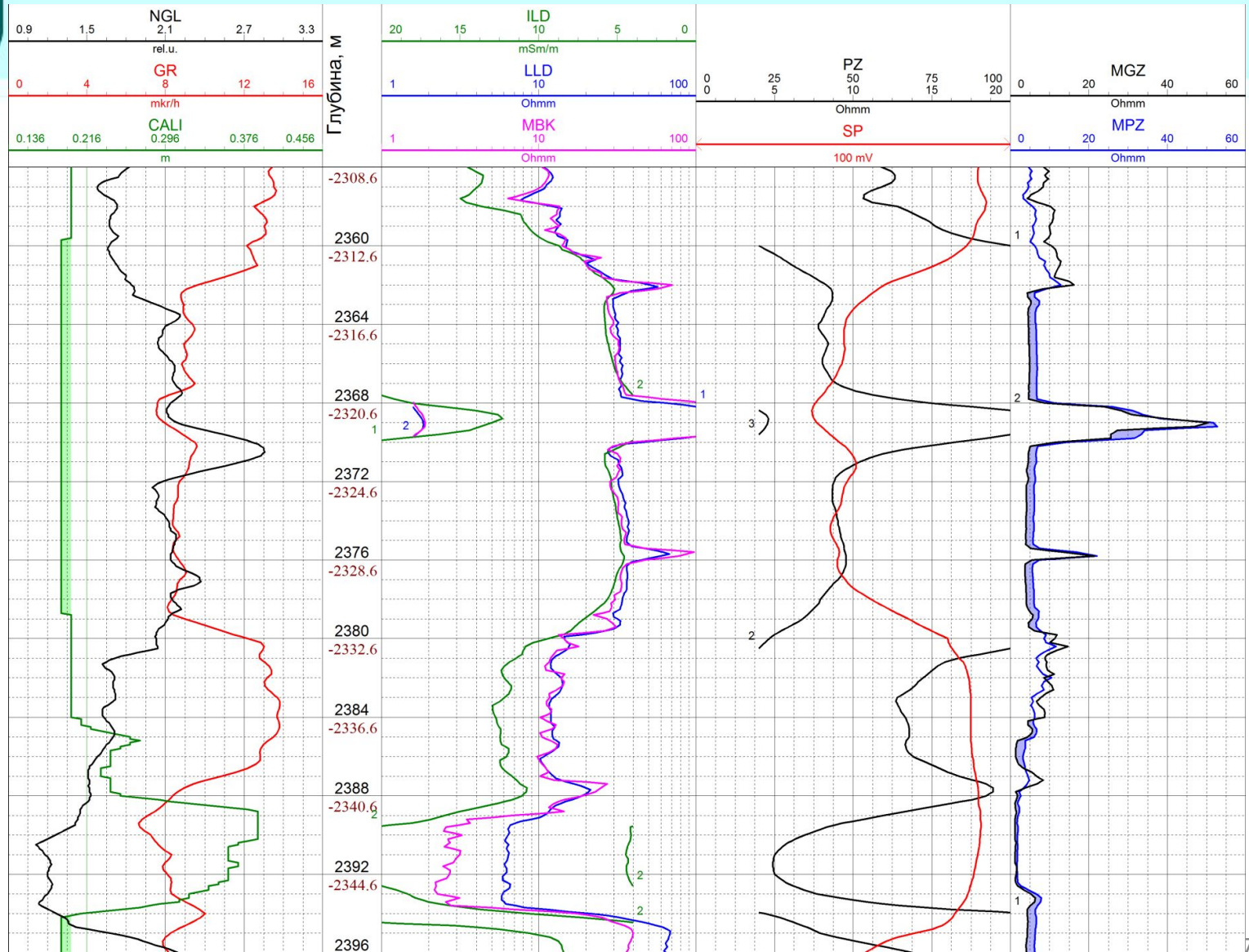
- метан ( $\text{CH}_4$ )
- этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )
- пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )
- бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )





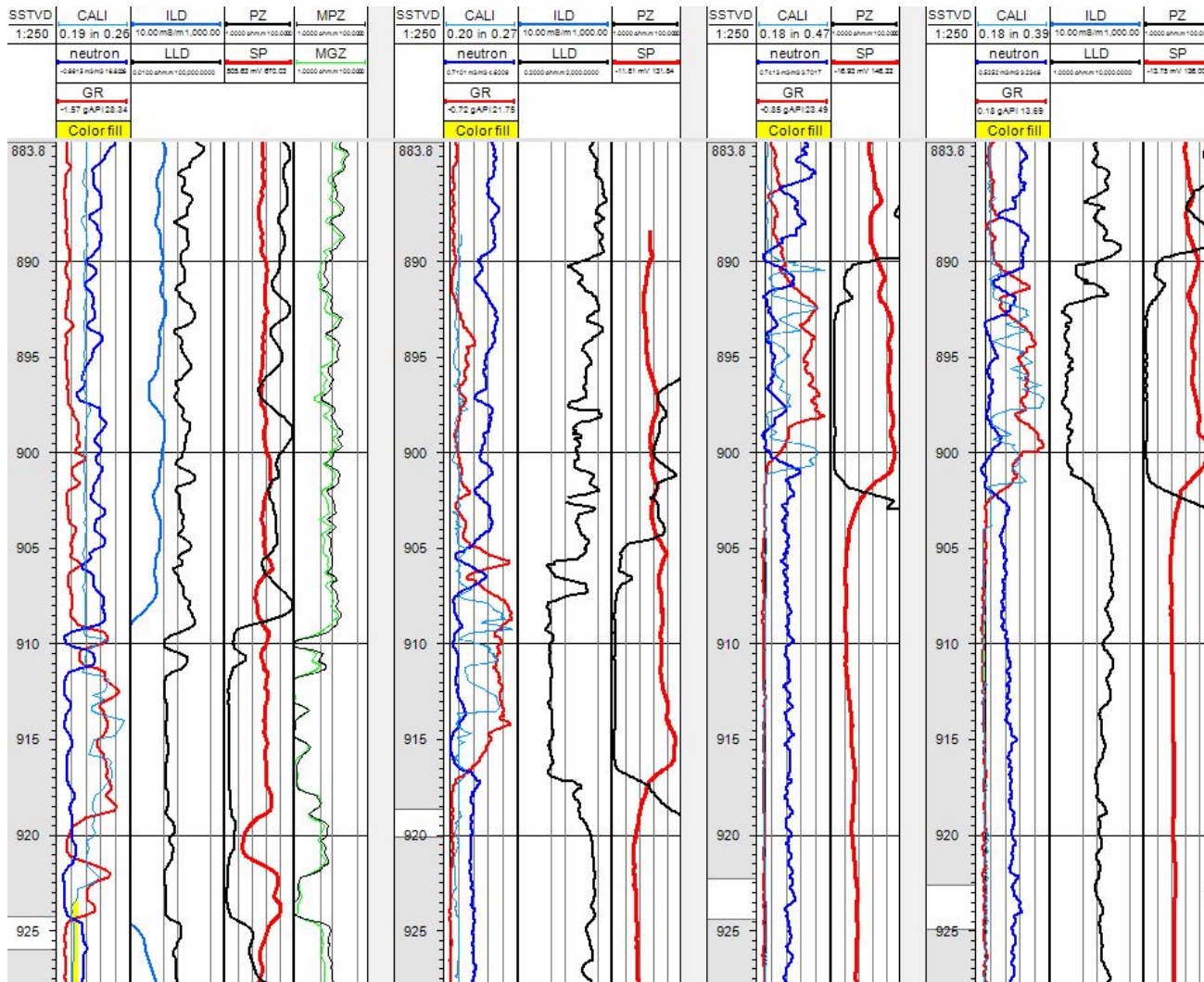


# Пример каротажной



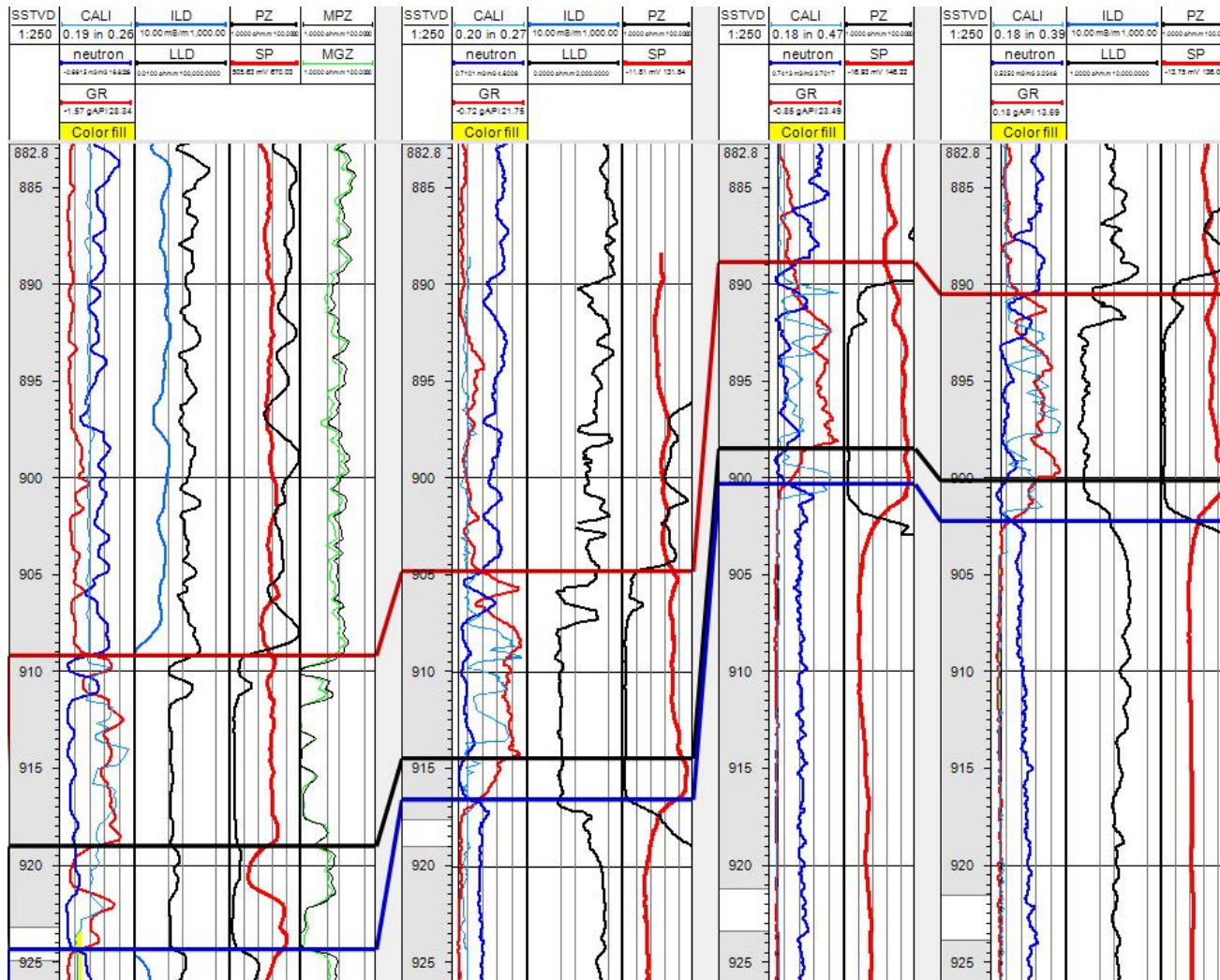


# Схема корреляции





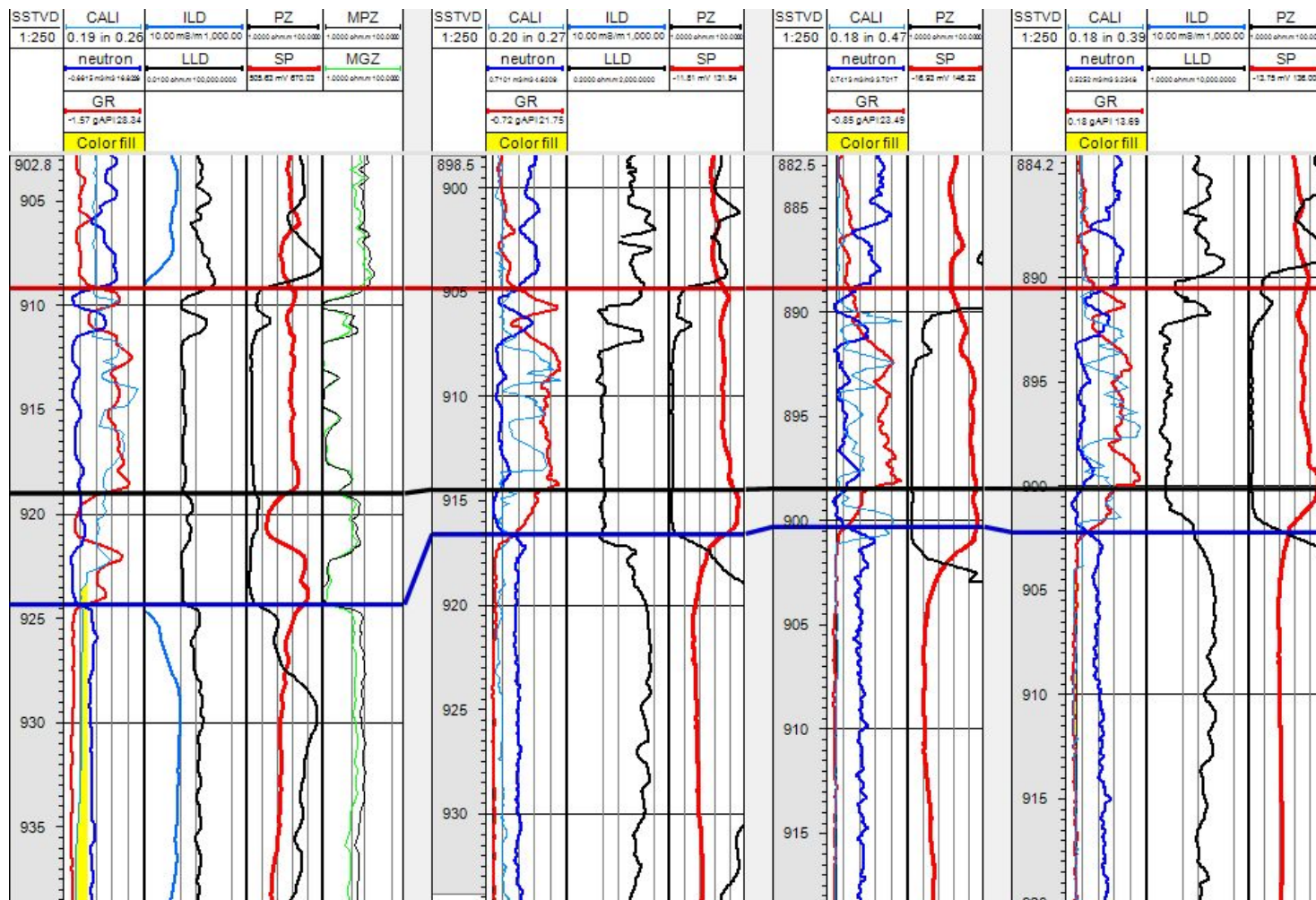
# Схема корреляции







# Схема корреляции





# Пористость

- Под **пористостью** горной породы понимается совокупность пустот (пор) между частицами ее твердой фазы в абсолютно сухом состоянии.



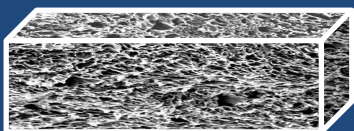
# Пористость

- Коллектор – горная порода, способная содержать флюид и отдавать его под действием градиента давления





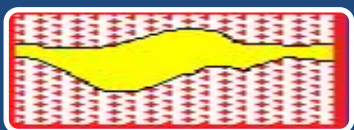
# Типы пористости



Общая пористость



Гранулярная



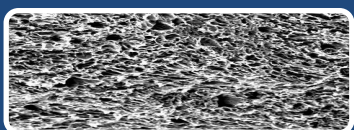
Кавернозная



Трещиноватая



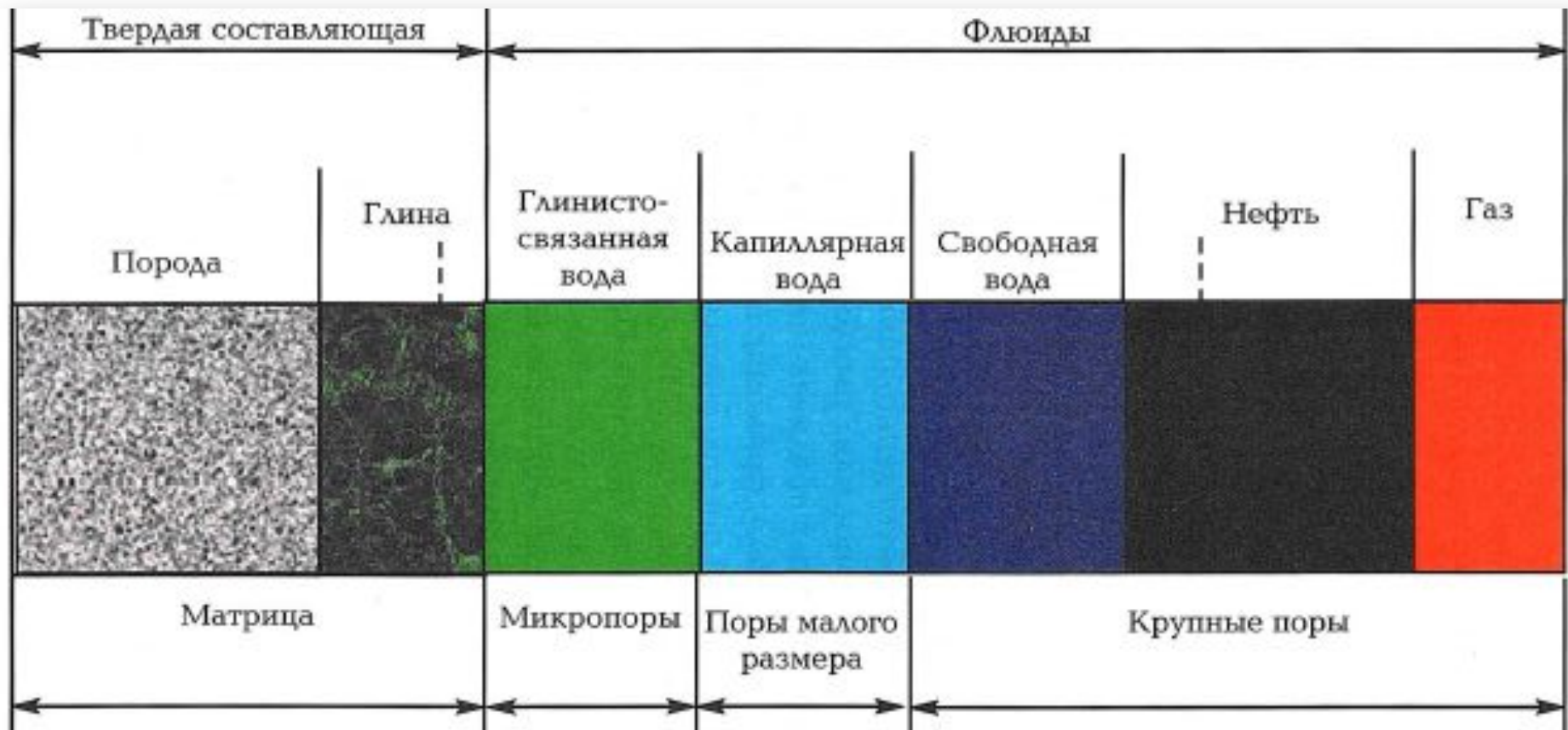
Сингенетическая



Эпигенетическая



# Пористость





# Пористость

Петрофизические основы определения пористости состоят в наличии зависимости  $K_p$  от физических параметров пласта.

**Ни один метод ГИС не измеряет пористость напрямую!**



# Пористость

- Определение пористости по ГИС производится следующими методами:
- **Электрметрия (ПС, ПЗ, БКЗ, ИК, БК, МКЗ)**
- **Акустический каротаж(АК)**
- **Радиоактивные (ННК, НГК, ГГКп)**
- **ЯМК**



# Пористость

- Определение  $K_{\text{п}}$  по данным  $\rho_{\text{вп}}$  и  $\rho_{\text{в}}$  в водоносных коллекторах определяется преимущественно, когда проникновение фильтрата промывочной жидкости относительно невелико и такие методы как

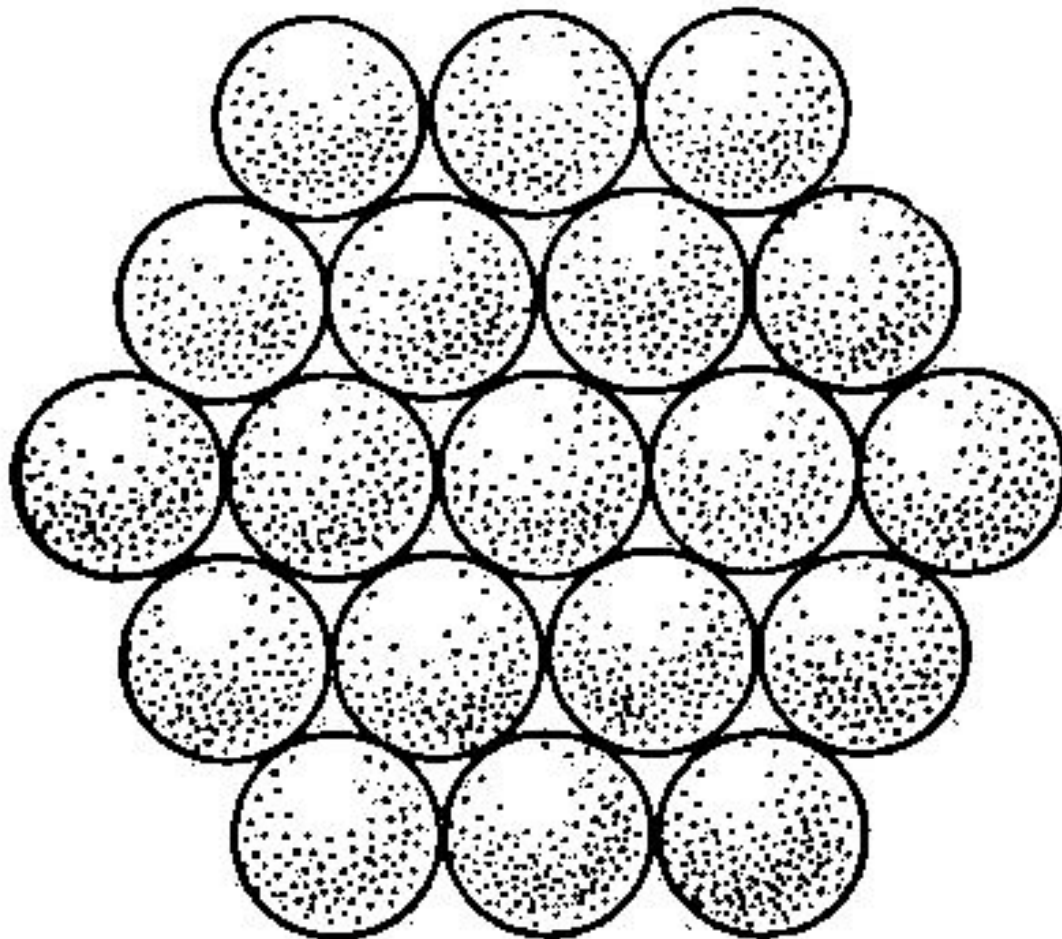
## БКЗ, ИК, БК

- дают возможность оценить  $\rho_{\text{вп}}$  с достаточной степенью точности





# Пористость





# Пористость

Уравнение Арчи - Дахнова

$$R_p = \rho_{vp} / \rho_v = a / K_p^m$$

Где

$R_p$  – параметр пористости

$\rho_{vp}$  - удельное сопротивление водонасыщенной породы

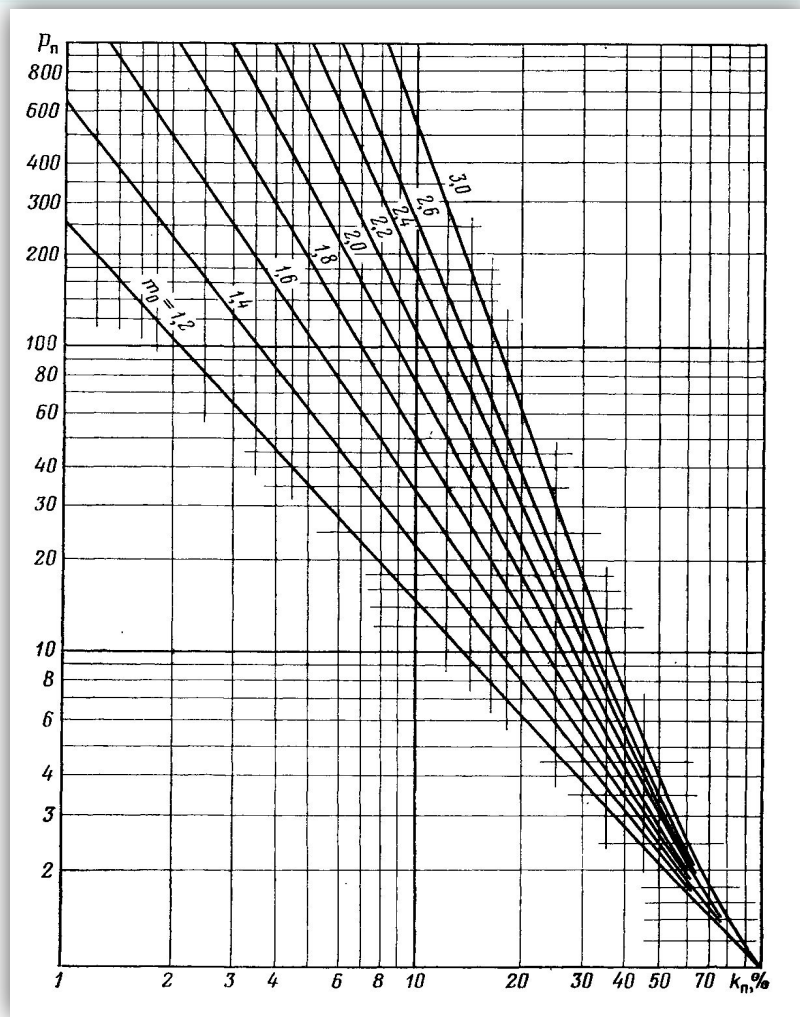
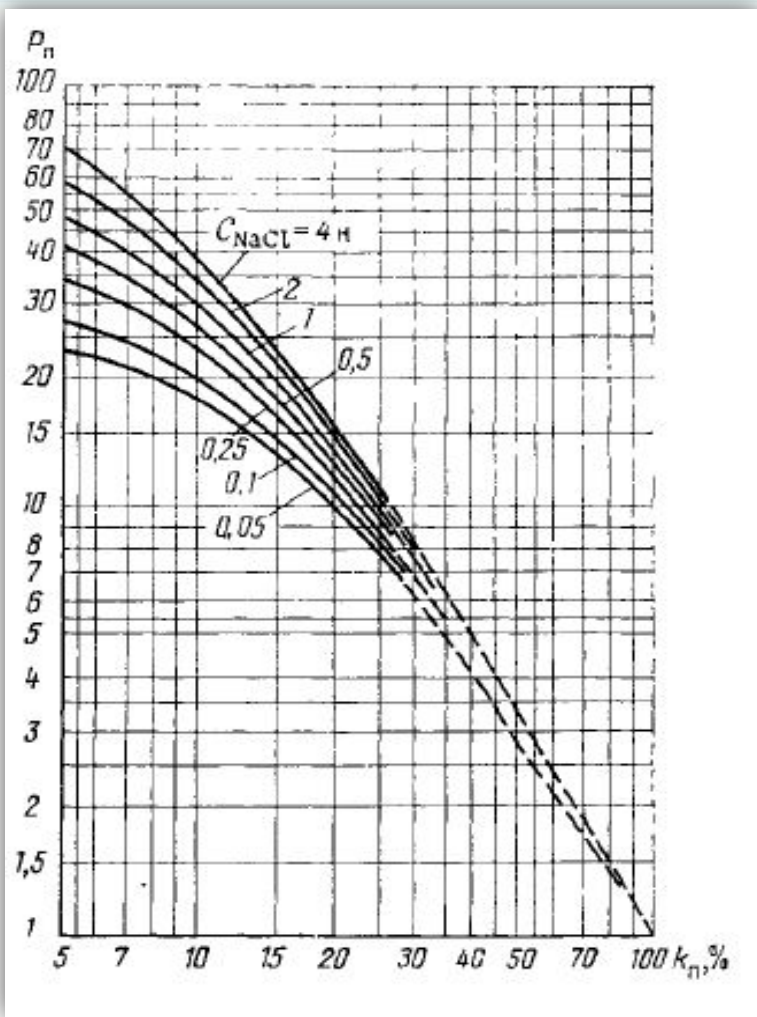
$\rho_v$  - удельное сопротивление воды

$K_p$  – коэффициент пористости

$a, m$  - константы



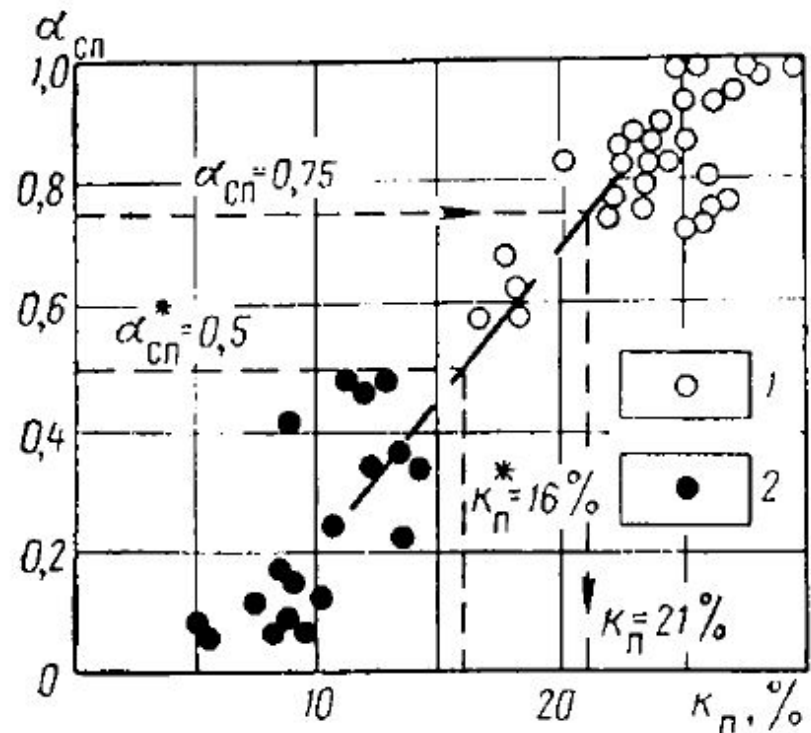
# Пористость





# Пористость

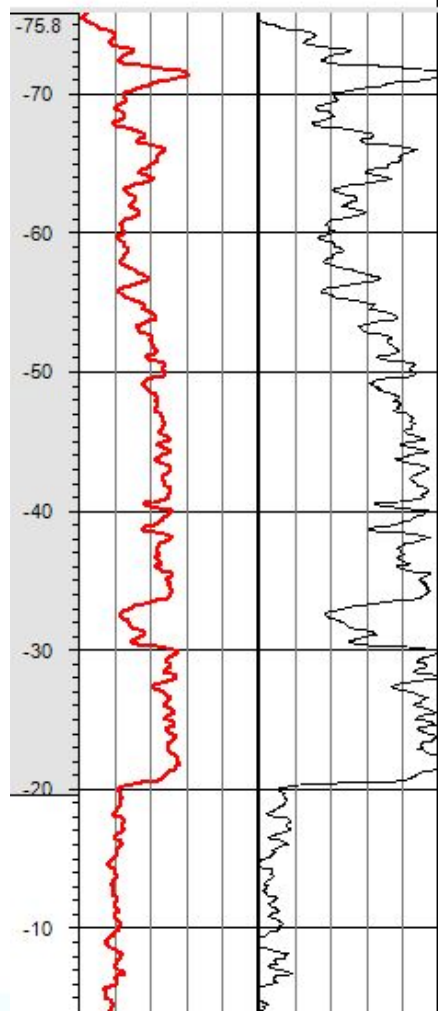
- Кварцевые терригенные коллекторы с рассеянной глинистостью
- Определение Альфа  $\alpha$  ПС
- Выбор корреляционной связи между  $\alpha$  ПС и  $K_p$



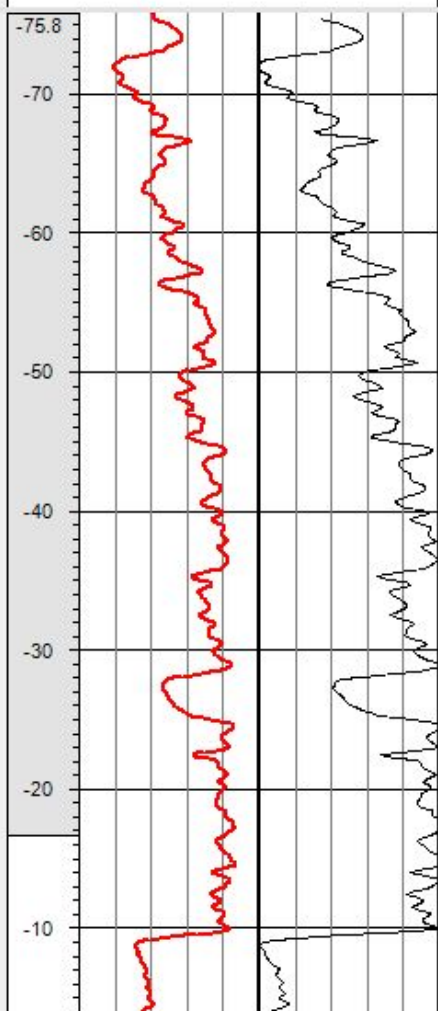


# Пористость НГК

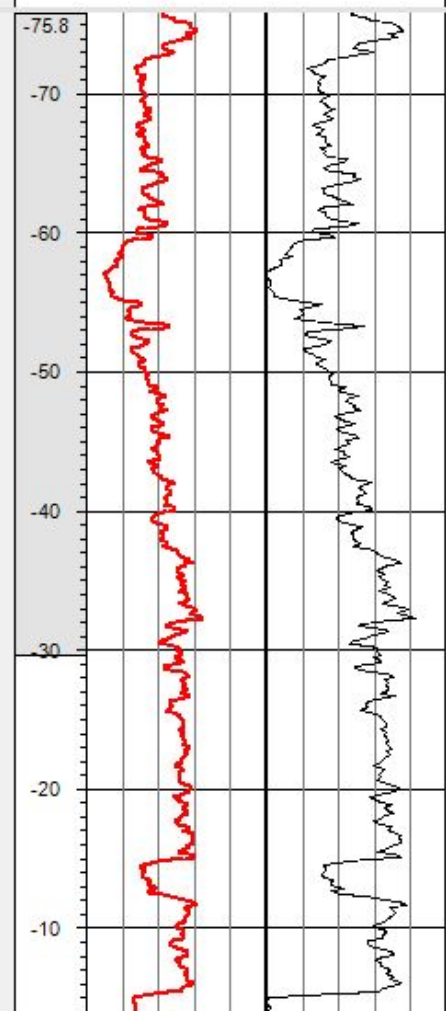
SSTVD	GK	Ag
1:500	0.00 gAPI 20.21	0.00 gAPI 1.00



SSTVD	GK	Ag
1:500	0.00 gAPI 14.33	0.00 gAPI 1.00



SSTVD	GK	Ag
1:500	0.00 gAPI 11.25	0.00 gAPI 1.00







# Пористость по ГГКп

$$\phi_{den} = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

Где

$\phi_{den}$  = Пористость

$\rho_{ma}$  = Плотность матрицы

$\rho_b$  = Плотность породы (= плотность, измеренная при каротаже)

$\rho_f$  = плотность флюида

Порода	$\delta_{об}, \text{г/см}^3$
Известняк	2.71
Доломит	2.87
Песчаник кварцевый	2.65
Песчаник полимиктовый	2.60
Ангидрит	2.96
Гипс	2.32
Каменная соль (галит)	2.20
Вода	1.00
Нефть	0.6-0.8
Газ	0.002



# Пористость по АК

$$\phi_{sonic} = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}}$$

$\phi_{sonic}$  = пористость

$\Delta t_{ma}$  = Интервальное время матрицы

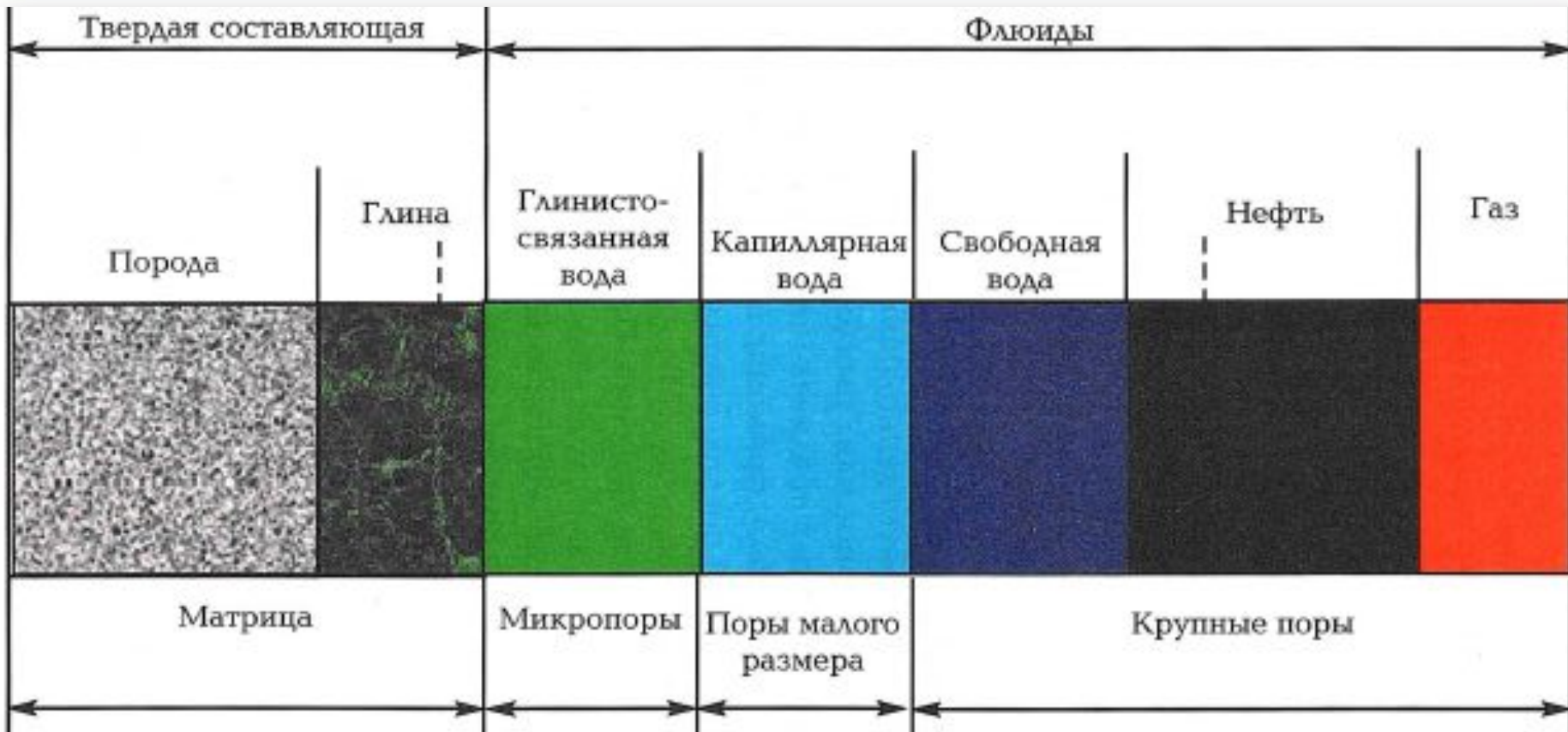
$\Delta t_{log}$  = Интервальное время породы  
(показания на диаграмме)

$\Delta t_f$  = Интервальное время флюида

Минерал	$\Delta t_m$ , мкс/м
Кальцит	155
Доломит	142
Ангидрит	164
Гипс	171
Кварц	170
Ортоклаз	150
Микроклин	163
Альбит	166
Галит	221
Вода	600
Нефть	750
Газ	1500

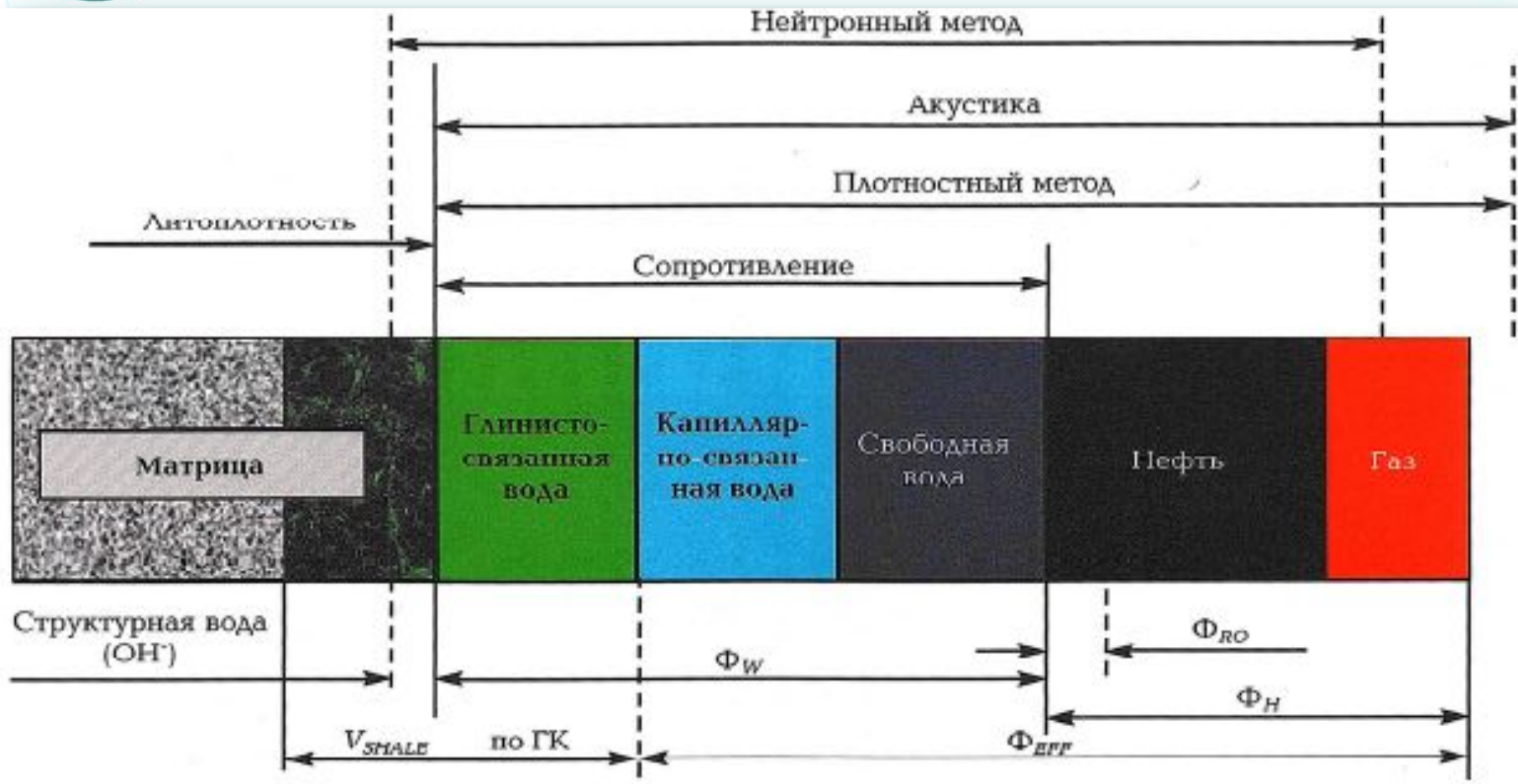


# Пористость



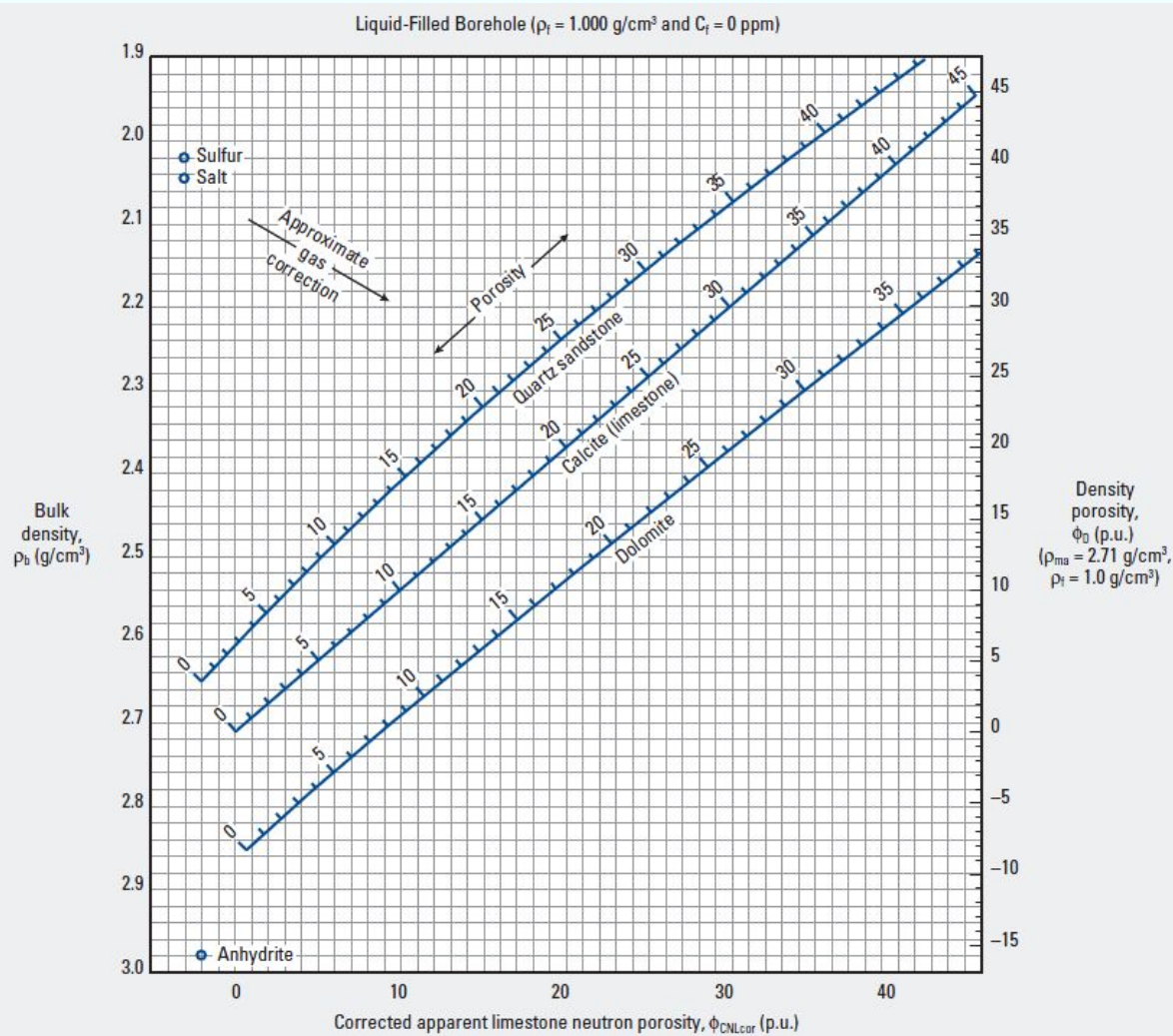


# Пористость





# Пористость





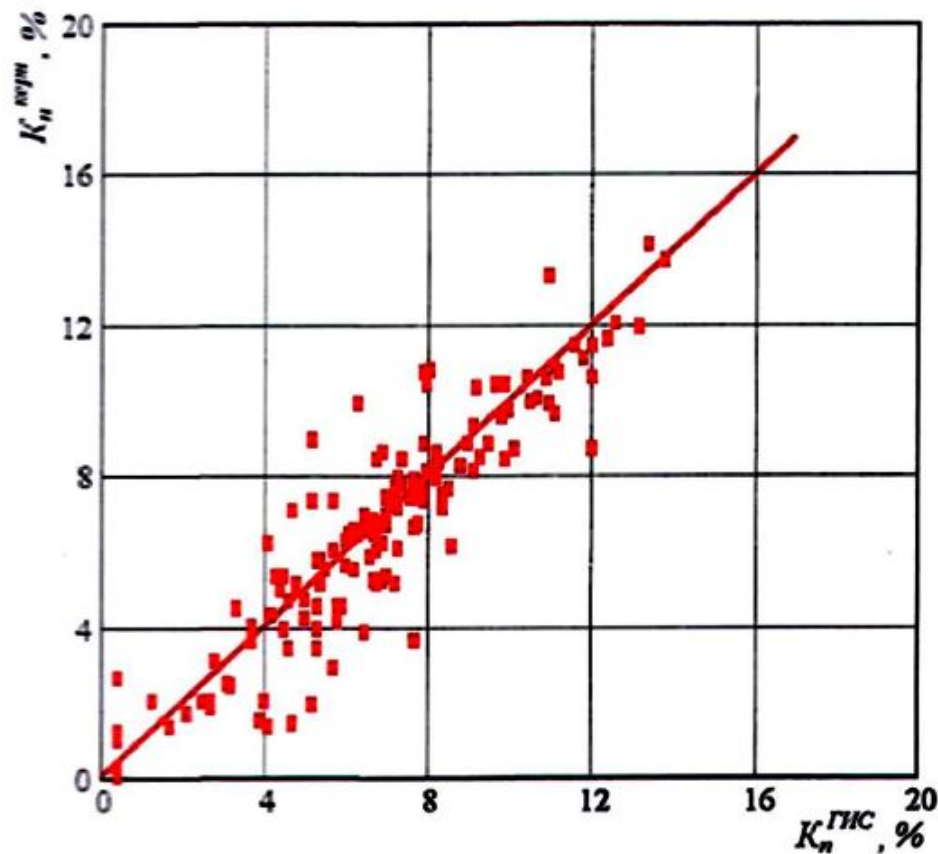


# Оценка точности определения пористости

Сопоставление данных  
«Керн-ГИС»

Сопоставление  $K_p$  керн –  $K_p$   
ГИС

Сопоставление  
геофизического параметра,  
определенного по ГИС и по  
керну

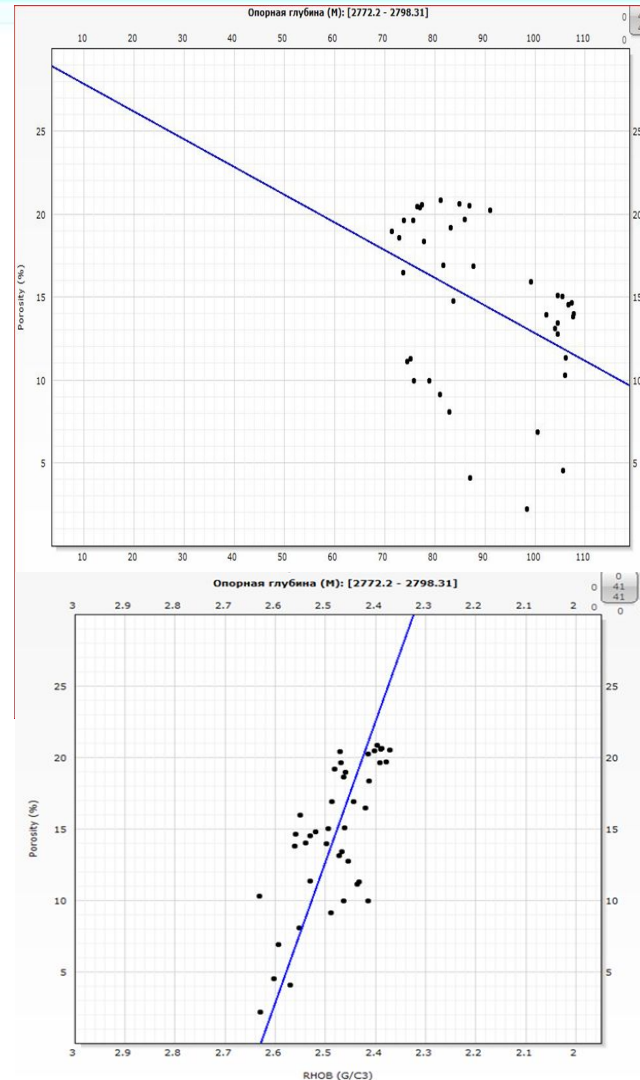




# Оценка точности определения пористости

## Причины невязки данных КЕРН-ГИС

- 1) Плохая привязка керна по глубине
- 2) Неверное определение  $K_p$  в лаборатории по керну
- 3) Неточность в петрофизическом уравнении
- 4) Различные размеры области исследования керна и ГИС
- 5) Невозможность отбора керна из наиболее пористых интервалов





# Насыщение коллектора

После определения  $K_p$  следует этап определения

- коэффициента глинистости ( $K_{гл}$ ),
- коэффициента насыщения ( $K_n$ ),
- коэффициента водонасыщения ( $K_v$ )



# Насыщение

$$K_n = V_n / V_{пор}$$

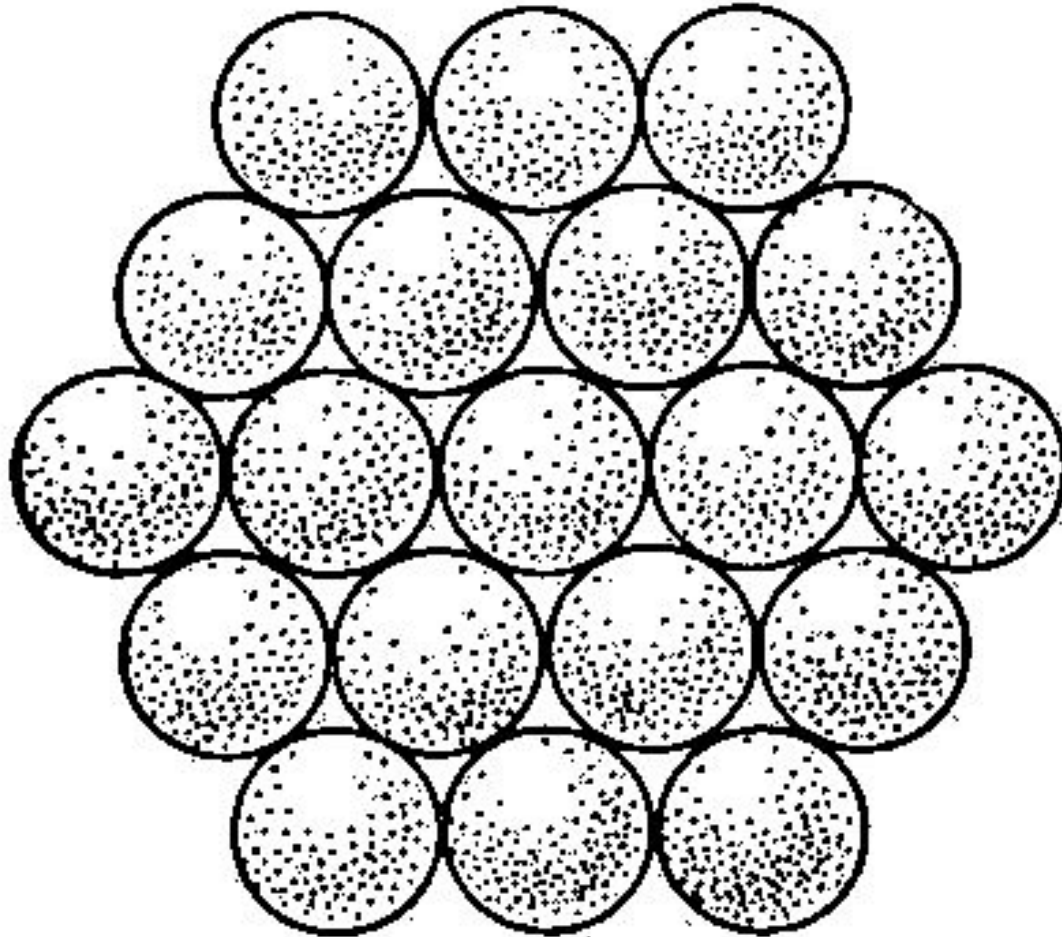
Коэффициент нефтенасыщенности или газонасыщенности

отношение объема нефти (газа), содержащейся в порах пласта, к общему объему всех пор (пустот) нефтеносного (газоносного) пласта в пластовых условиях.

$$K_v + K_n + K_g = 1$$



# Определение $K_n$ по КС







# Определение $K_n$ по $K_C$

Уравнение Арчи-Дахнова для определения  $K_v$

$$K_v = \sqrt[n]{\frac{a * R_w}{K_n^m * R_t}}$$

- $n$  – степень насыщения
- $a, m$  – уникальные значения для горной породы, определяются лабораторным путем
- $R_w$  – УЭС (Ом\*м) пластовой воды
- $R_t$  – УЭС (Ом\*м) исследуемого пласта



# Определение $K_n$ по $K_C$

$$K_n = 1 - C / (K_p^{m/n} * R_t^{1/n})$$

$$C = (a * b * R_w)^{1/n}$$

Где

- $a, b, m, n$  – коэффициенты, определяемые по керну
- $R_w$  – УЭС (Ом\*м) пластовой воды
- $R_t$  – УЭС (Ом\*м) исследуемого пласта



# Проницаемость

- Проницаемость – фильтрационный параметр горной породы, характеризующий её способность пропускать к забоям скважин нефть, газ и воду.



- Определяется по исследованиям керна



# Проницаемость

- $$k = \frac{Q \cdot \mu \cdot L}{(P_1 - P_2) \cdot F}$$
- $Q$  - объемный расход жидкости в единицу времени;
- $\mu$  - динамическая вязкость флюида;
- $F$  - площадь фильтрации;
- $P_1$  - давление на входе;
- $P_2$  - давление на выходе;
- $L$  - длина пористой среды.
  
- Единица измерения Дарси [Д] или [м<sup>2</sup>]
- 1Д  $\approx$  1 мкм<sup>2</sup>



# Проницаемость

- По данным ГИС определяется в основном через пористость
- Формула Козени-Кармана

$$k = \frac{\varphi^3}{f * T^2 * S^2}$$

- $k$  — проницаемость
- $\varphi$  — коэффициент динамической пористости;
- $S$  — удельная поверхность фильтрующих каналов
- $T$  — гидравлическая извилистость каналов
- $f$  — коэффициент формы сечения круглого капилляра



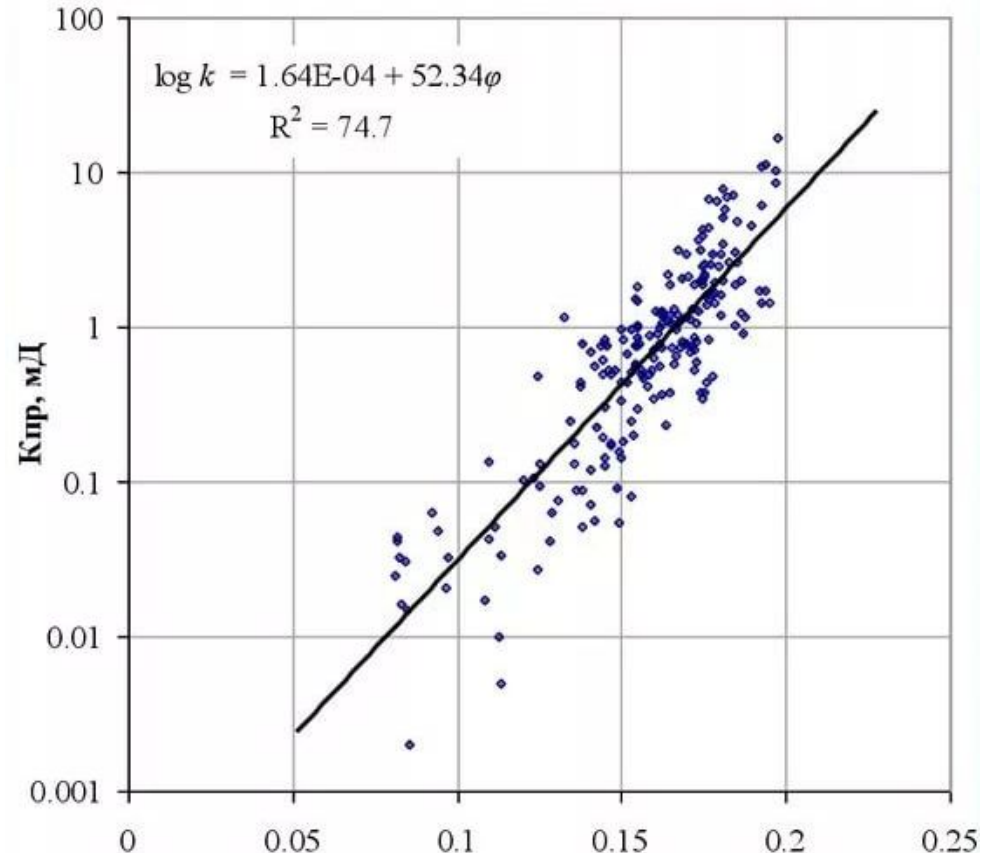


# Проницаемость

- По данным ГИС определяется в основном через пористость
- Построение зависимости пористость-проницаемость:

$$k = 10^{a \cdot \log(\varphi) + b}$$

- $k$  — проницаемость
- $\varphi$  — коэффициент пористости;
- $a, b$  — константы





# J - функция

- J-функция – это средство нормализации значений  $P_c$  по пробам с различными значениями пористости и проницаемости

$$J = \frac{3.183 P_c \sqrt{K / \Phi}}{\gamma \cos \theta}$$

- $J$  = J-функция Леверетта от водонасыщенности (безразмерна)
- $P_c$  = капиллярное давление (атм)
- $K$  = проницаемость (мД)
- $\Phi$  = пористость (доли ед.)
- $\gamma$  = поверхностное натяжение УВ/пластовая вода (дин/см)
- $\theta$  = угол смачиваемости



# J - функция

- Упрощение J-функции

$$J = a * S_{wn}^b$$

$$S_{wn} = \frac{S_w - S_{wirr}}{1 - S_{wirr}}$$

- J = J-функция Леверетта
- a, b = константы
- $S_{wn}$  = нормированный коэффициент водонасыщенности
- $S_{wirr}$  = коэффициент остаточной водонасыщенности
- $S_w$  = коэффициент водонасыщенности

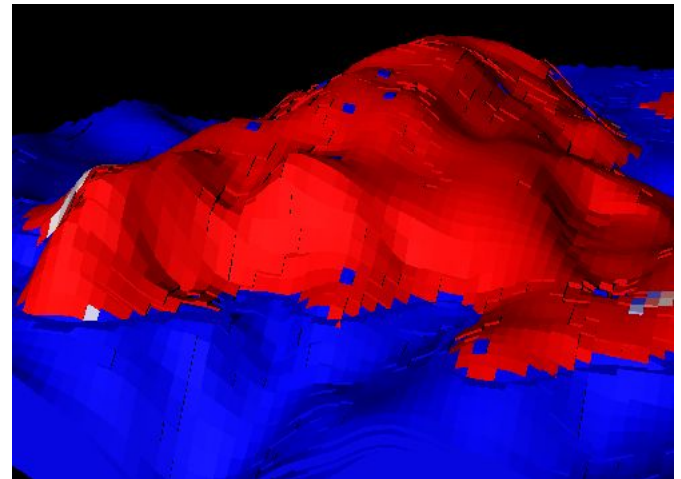
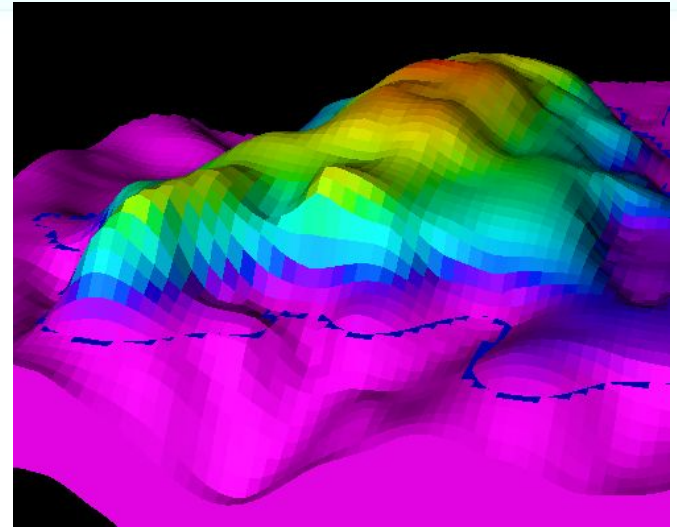


# J - функция

- Упрощение J-функции

$$J = H * \sqrt{\frac{k}{\varphi}}$$

- J = J-функция Леверетта
- H = высота над уровнем ВНК
- k = коэффициент проницаемости
- $\varphi$  = коэффициент пористости





# Спасибо за внимание!

