

Ядерно-магнитный каротаж

Радиоактивный каротаж

Ядерно-магнитный каротаж

основан на измерении ядерной намагниченности горных пород в разрезе скважины. Благодаря наличию механического и магнитного моментов, ядра атомов многих элементов подобно намагниченному волчку ориентированы и вращаются (прецессируют) вокруг направления магнитного поля Земли.

Принцип ЯМК заключается в следующем:

- на породы воздействуют постоянным магнитным полем, под его влиянием магнитные моменты ядер элементов пород меняют свою ориентацию;
 - после снятия поляризующего поля ядерные магнитные моменты, возвращаясь к исходной ориентации, свободно прецессируют, создавая свою, затухающее во времени электромагнитное поле, напряженность которого измеряется.
- Индукцированная полем в катушке зонда ЭДС является сигналом свободной прецессии.

- *Амплитуда сигнала зависит только от количества ядер водорода, находящихся в составе подвижной жидкости, заключенной в порах породы.*
- *Сигнал свободной прецессии от ядер других элементов, входящих в состав твердой фазы породы и вязкого вещества ее пор, а также от ядер водорода кристаллизационной и связанной воды скважинной аппаратурой не регистрируется.*
- *Для характеристики амплитуды сигнала свободной прецессии в ЯМК используется индекс свободного флюида (ИСФ) — отношение начальных амплитуд сигналов, наблюдаемых при ЯМК и в дистиллированной воде.*

Решаемые задачи:

- *определения эффективной пористости пород ($ИСФ \sim Kп.$),*
- *выделения коллекторов (неколлекторы на диаграммах не выделяются и $ИСФ = 0$),*
- *выяснения характера насыщения пластов,*
- *определения эффективной мощности продуктивных коллекторов.*

Ядерно-магнитные свойства флюидов и насыщенных ими горных пород при 20°C

<i>Порода, флюиды</i>	<i>ИСФ, %</i>	<i>T₂, мс</i>	<i>T_p, мс</i>	
			<i>Сильное поле (300 Гс)</i>	<i>Слабое поле (0,5 Гс)</i>
<i>Вода дистиллированная, содержащая растворённый воздух</i>	<i>100</i>	<i>500-1500</i>	<i>2300</i>	<i>2300</i>
<i>Вода, содержащая в 1 л: 200 г NaCl 0,4 г CuSO₄</i>	<i>92 100</i>	<i>500-1500 50-100</i>	<i>1700 180</i>	<i>1650 180</i>
<i>Нефть</i>	<i>5-100</i>	<i>250-1200</i>	<i>250-1200</i>	<i>250-1200</i>
<i>Конденсат</i>	<i>100</i>	<i>500-1500</i>	<i>до 3500</i>	<i>До 3500</i>
<i>Песчаник водонасыщенный</i>	<i>0-40</i>	<i>30-100</i>	<i>100-1500</i>	<i>150-1500</i>
<i>Песчаник нефтенасыщенный</i>	<i>0-40</i>	<i>30-200</i>	<i>250-1200</i>	<i>250-1200</i>
<i>Известняк водонасыщенный</i>	<i>0-40</i>	<i>30-200</i>	<i>до 2000</i>	<i>до 2000</i>
<i>Известняк нефтенасыщенный</i>	<i>0-40</i>	<i>30-200</i>	<i>250-1200</i>	<i>250-1200</i>
<i>Глина</i>	<i>0</i>	<i><20</i>	<i>-</i>	<i>-</i>

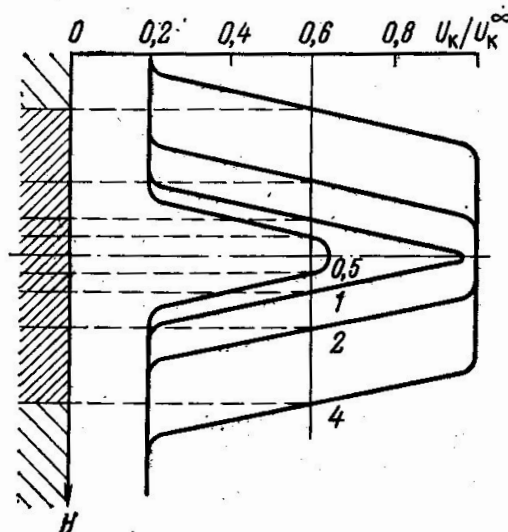
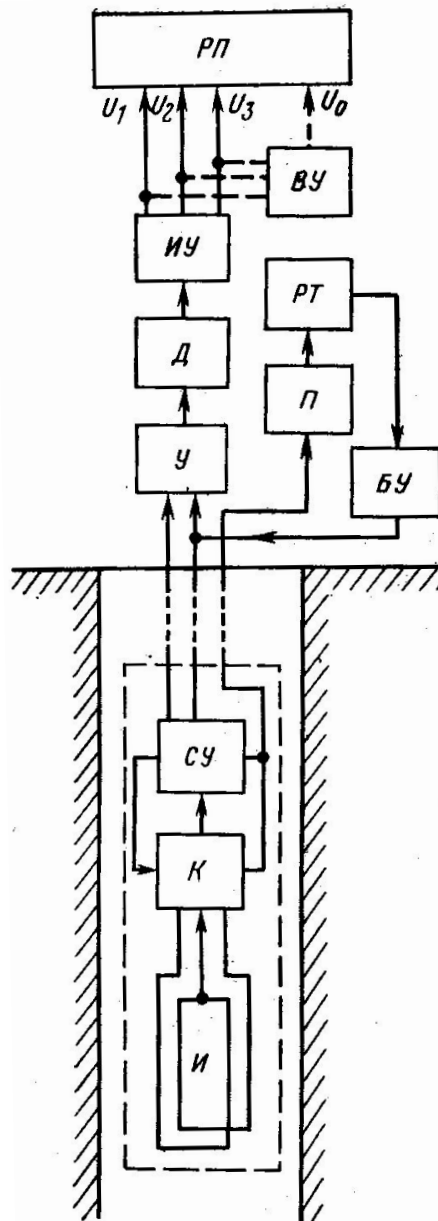
Зонд ЯМК состоит из катушки и коммутатора, попеременно подключающего ее к источнику постоянного тока силой 2-3 А.

Ось катушки перпендикулярна оси скважины. При подключении катушка создает в окружающем пространстве поляризующее постоянное магнитное поле в направлении, перпендикулярном оси скважины, т. е. в случае вертикальной скважины практически перпендикулярном вектору магнитного поля Земли (Т).

В этой связи метод ЯМК затруднительно применять в наклонных и горизонтальных скважинах.

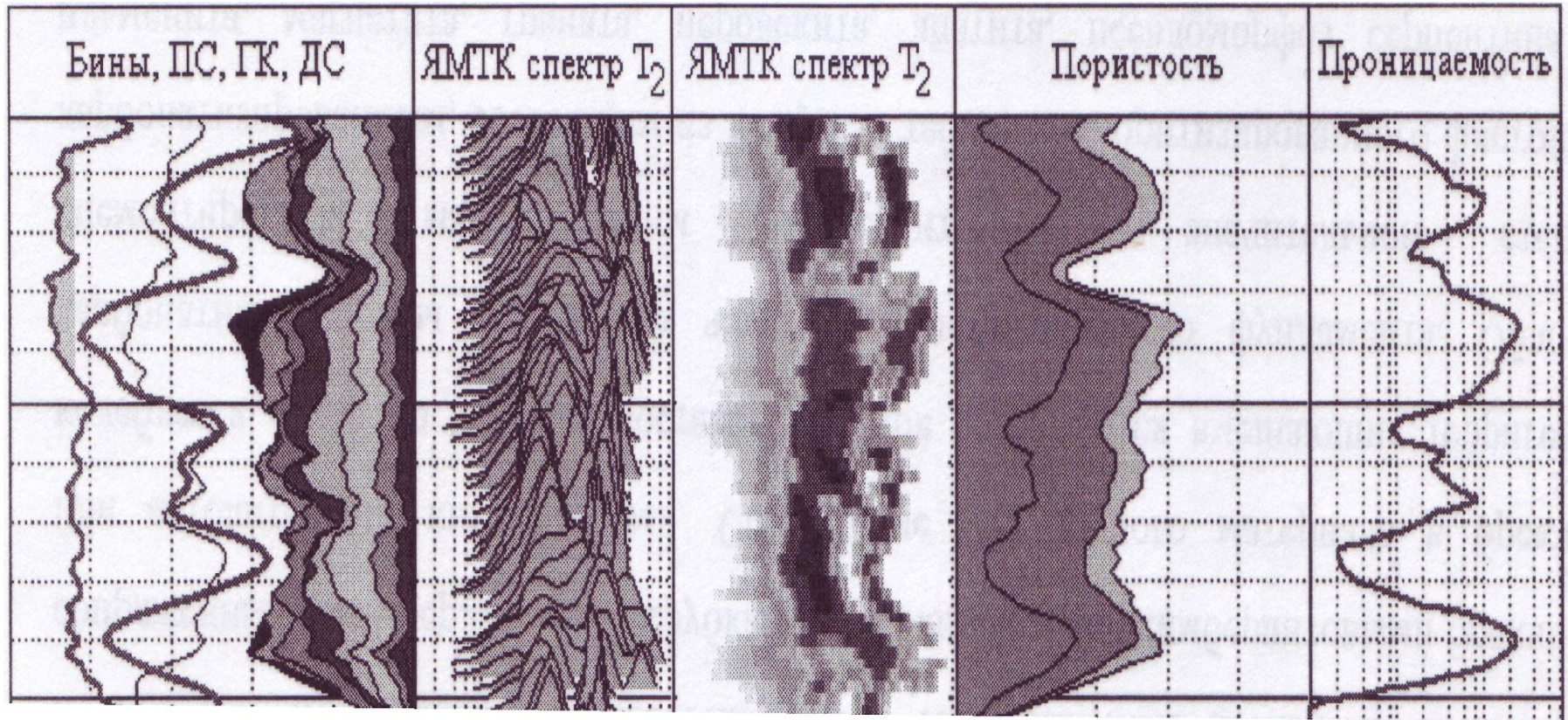
Величина поляризующего поля примерно в 100 раз больше поля Земли. Ток пропускают, пока не закончится продольная релаксация (не более 2-3 с).

После выключения поляризующего поля, спустя мертвое время ($t_M = 25-30$ мс), в катушке регистрируют наведенную ЭДС.



- *РТ – реле остаточного тока;*
- *К – коммутатор;*
- *СУ – скважинный усилитель;*
- *У – усилитель;*
- *ИУ – измерительное устройство;*
- *П – источник тока поляризации;*
- *БУ – блок управления;*
- *Д – детектор;*
- *РП – регистрирующий прибор;*
- *ВУ – вычислительное устройство.*

Кривые ЯМК

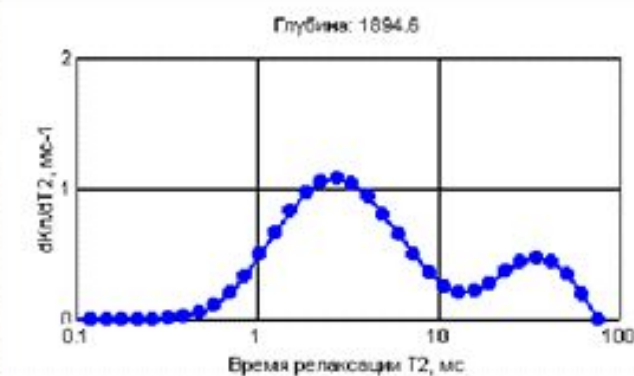
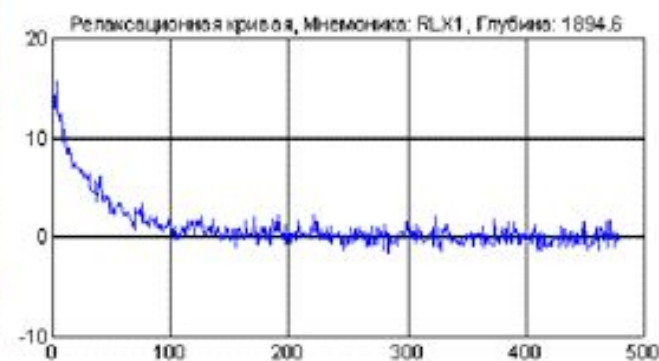
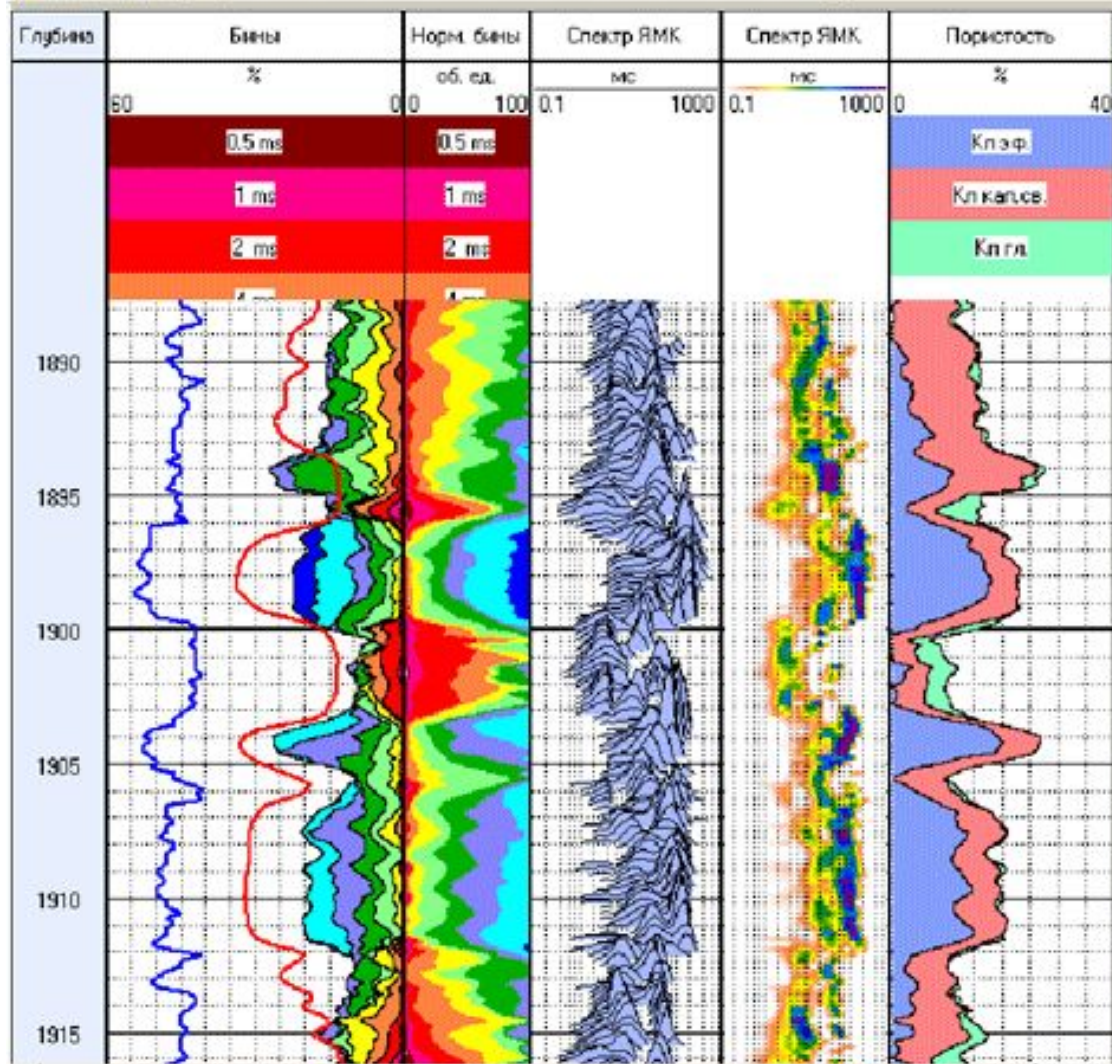


*Пример реализации ядерно-магнитного метода в
сильном магнитном поле*

Файл Формат Сервис Режим Интервал Окно Справка



1:200 ФЕС



TIME SPEE MARK RLX1 RLX2 RLX3 RLX4 RLX5 RLX6 TINT

NONE: NOT Интервал, мс: 1926.80 - 1807.80

Радиоактивный каротаж

**Гамма-
каротаж**


```
graph TD; A["Гамма-каротаж"] --> B["ГК – изучение естественного гамма-излучения"]; A --> C["ГГК – изучение искусственного гамма-излучения"]; B --> D["ГК-И  
Интегральный гамма-каротаж"]; B --> E["ГК-С  
Спектрометрический гамма-каротаж"]; C --> F["ГГК-С  
(селективный)  
- изучение эффективного атомного номера  
Zэфф"]; C --> G["ГГК-П  
(плотностной)  
- изучение плотности"];
```

***ГК – изучение
естественного
гамма-излучения***

***ГГК – изучение
искусственного
гамма-излучения***

***ГК-И
Интегральный
гамма-каротаж***

***ГК-С
Спектрометрический
гамма-каротаж***

***ГГК-С
(селективный)
- изучение
эффективного
атомного номера
 $Z_{эфф}$***

***ГГК-П
(плотностной)
- изучение
плотности***

Радиоактивность

Среди других радиометрических методов исследования скважин наиболее распространенным является метод естественной радиоактивности горных пород или, как его чаще называют, гамма – метод. В его основе лежит изучение закономерностей изменения естественной радиоактивности горных пород, обусловленной присутствием главным образом урана и тория с продуктами распада, а также радиоактивного изотопа калия K^{40} . остальные радиоактивные элементы (Rb^{87} , Zr^{96} , La^{138} , Sm^{147} и т.д.) имеют столь большие периоды полураспада, что при существующей распространенности в земной коре заметного вклада в суммарную радиоактивность внести не могут.

Радиоактивностью основных минералов, входящих в состав осадочных горных пород, колеблется в весьма широких пределах – от сотых долей до нескольких тысяч пг-экв Ra/г. Все эти минералы по радиоактивности могут быть разбиты на четыре группы.

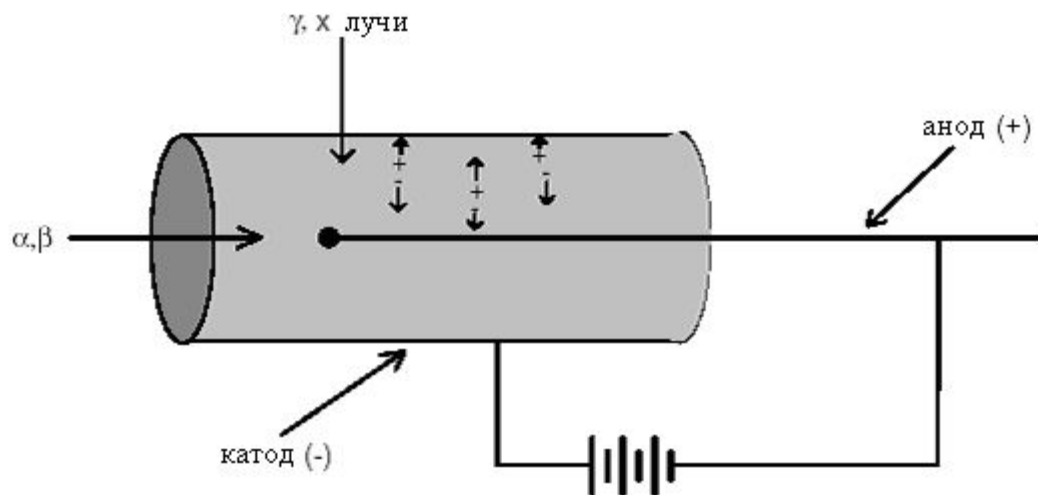
Соотношение вклада радиоактивных элементов в общую гамма-активность пород различно. Основной вклад в гамма-активность известняков и особенно доломитов дают Ra (соответственно 64% и 75%), вклад Ra, Th, K в радиоактивность песчаников примерно одинаков (Ra 23-26%, Th 40%, K 35%). В связи с этим спектр естественного гамма-излучения терригенных и карбонатных пород различен.

Группы радиоактивных минералов

- *В первую группу, характеризующуюся низкой радиоактивностью, входят основные составляющие осадочных горных пород минералы :*
- *кварц, доломит, ангидрит, гипс, кальцит, сидерит, каменная соль.*
- *Вторая группа минералов со средней радиоактивностью представлена отдельными минеральными разностями типа :*
- *лимонит, магнетит, турмалин, корунд, барит, олигоклаз, роговая обманка и др.*
- *К третьей группе минералов относятся :*
- *глины, слюды, полевые шпаты, калийные соли, характеризующиеся повышенной радиоактивностью, и некоторые другие минералы.*
- *В четвертую группу входят акцессорные минералы, радиоактивность которых более чем в 1000 раз превышает радиоактивность минералов первой группы.*

Счетчик Гейгера – Мюллера.

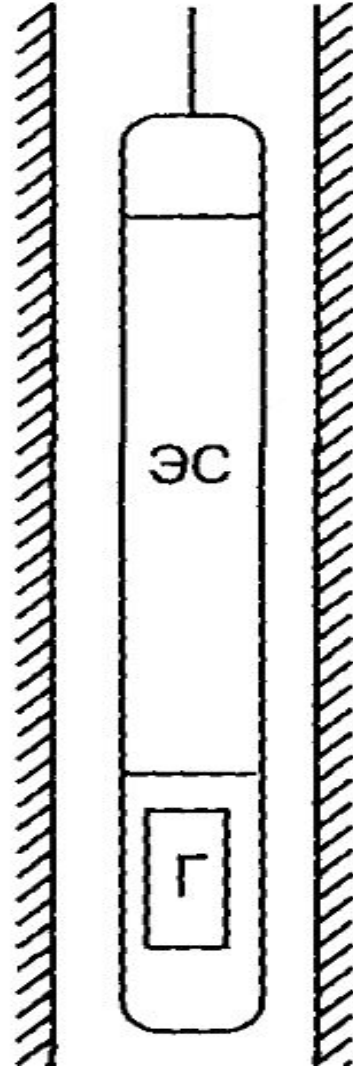
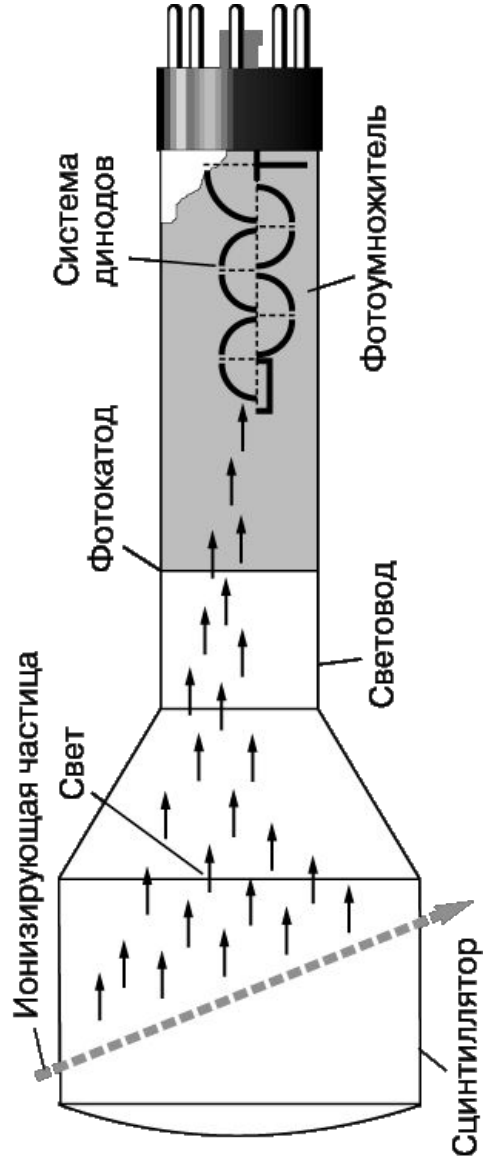
- В этом счетчике один из электродов (анод) под напряжением 800 – 1000 В помещен в камеру, заполненную ионизирующим газом под низким давлением ($\gg 0.01$ ат). Часть гамма – квантов, проходя через камеру, не взаимодействует на своем пути с молекулами газа, что снижает эффективность счетчика. Другие гамма – кванты вызывают ионизацию нескольких молекул газа.
- Каждый зарегистрированный счетчиком гамма – квант вызывает в цепи питания счетчика импульс тока.



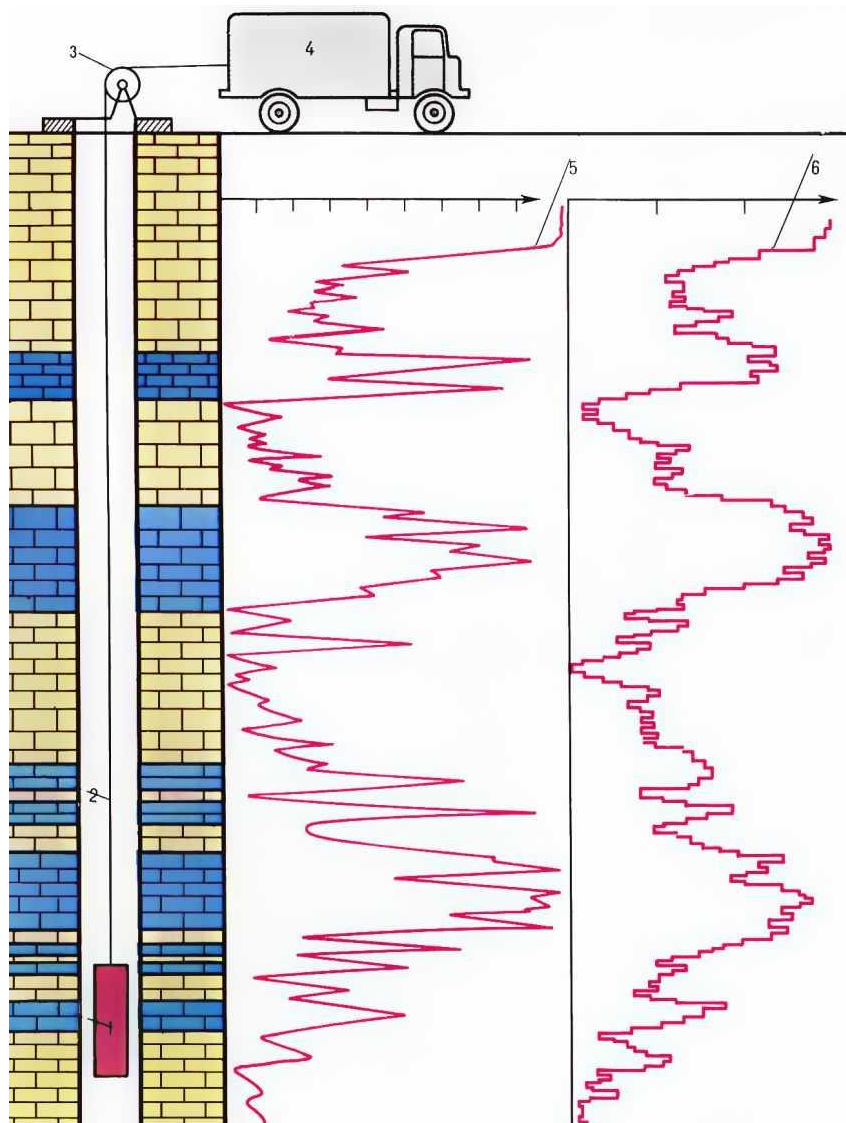
Сцинтилляционный счетчик.

- *Индикатором гамма – излучения является прозрачный кристалл, молекулы которого обладают свойством сцентилляции – испускания фотонов света при воздействии гамма – квантов. Фотоны отмечаются фотоумножителем и вызывают поток электронов к аноду (ток).*
- *Большим преимуществом сцентиллятора является высокая эффективность счета (регистрируется до 50 – 60% гамма – квантов, проходящих через кристалл) по сравнению с другими типами счетчиков, эффективность которых 1 – 5%. Это позволяет уменьшить длину счетчиков с 90 до 10 см, улучшить вертикальное расчленение и обеспечить малую статическую флуктуацию.*

Сцинтиллятор



Решаемые задачи



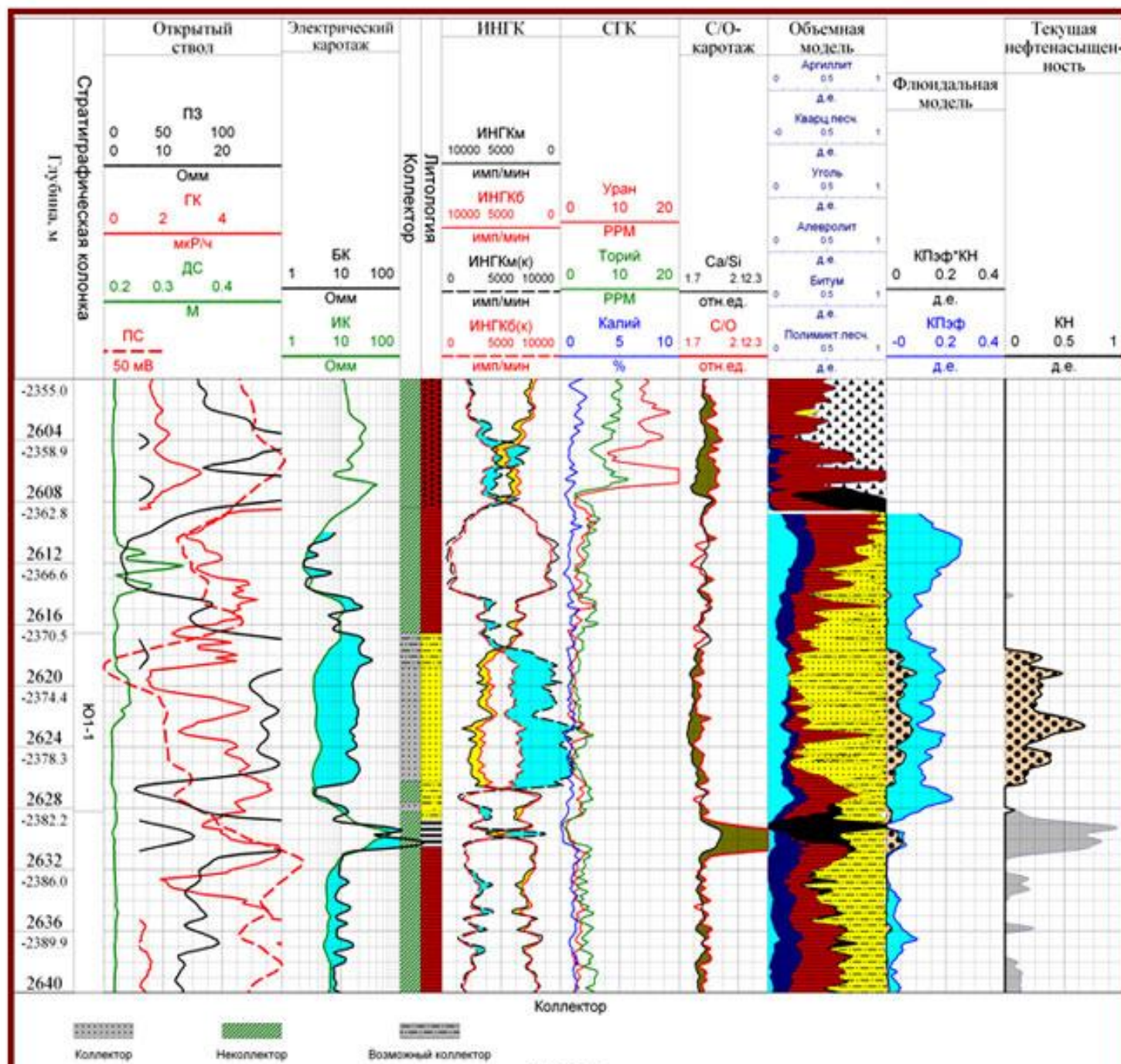
- *Корреляция разрезов скважин;*
- *Выделение радиоактивных пород, прослоев руд, углей;*
- *Выделение коллекторов;*
- *Оценка глинистости пород;*
- *Увязка кривых по глубине*

Гамма- каротаж спектрометрический

- *Определяет суммарную естественную радиоактивность пород и оценивают содержание в породе U, Th, K.*
- *Аппаратура имеет три окна регистрации энергии квантов радиоактивных изотопов.*
- *Строят кривые процентного содержания радиоактивных элементов.*

Решаемые задачи

- *Литологическое расчленение разреза;*
- *Детальная корреляция;*
- *Оценка минералогической и гранулометрической глинистости;*
- *Определение мин.состава глин;*
- *Определение пористости коллекторов в комплексе с ГГК, ННК, АК.*
- *Выделение зон трещиноватости.*

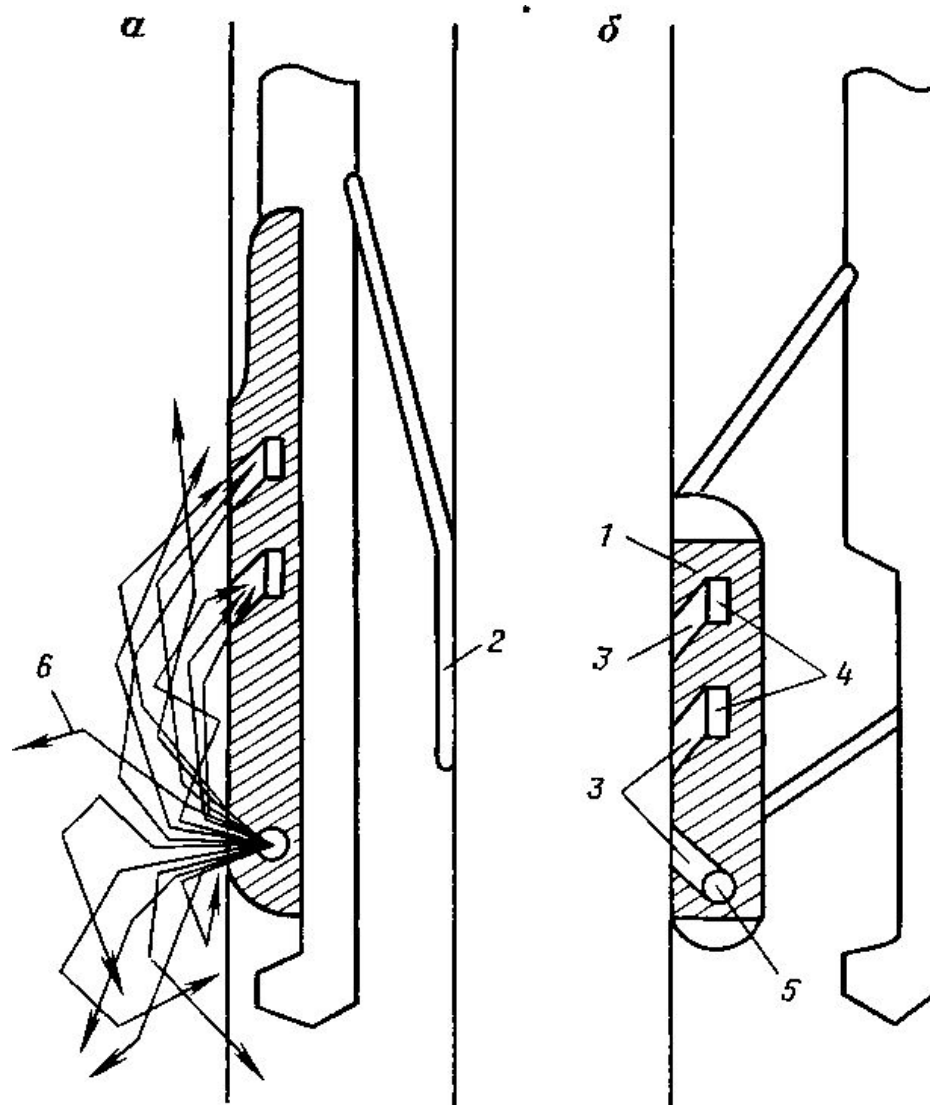


Гамма-гамма каротаж
Нейтронный каротаж

Гамма-гамма каротаж

- *Метод заключается в облучении породы гамма-квантами с последующей регистрацией гамма-квантов, достигших детектора.*
- *Существует 2 модификации:*
 - *Плотностной;*
 - *Селективный.*

Аппаратура



Конструкция зонда ГГК:

а – с прижимным устройством;

б – с выносным зондом

Зонд состоит из стационарного источника гамма-квантов и двух детекторов. Соответственно в аппаратуре реализована двухзондовая установка малой длины (15-25 см) и большой длины (35-45 см).

Точка записи – середина расстояния между детекторами.

Влияние длины зонда на показания ГГК:

- ***Зонд небольшой длины – доинверсионный (с ростом плотности растут показания);***
- ***Зонд большой длины – заинверсионный (рост плотности вызывает уменьшение показаний).***

Методика проведения

- *Наземный пульт регистрирует излучение интенсивность излучения от малого и большого зондов. С целью обеспечения безопасности персонала источник гамма-квантов выносится из защитного экрана аппаратуры на глубине.*
- *Для регистрации используются коллимационные каналы, заполненные заглушками из полиэтилена, препятствующие попаданию ПЖ в прибор и позволяющие легко регистрировать гамма-кванты. Между излучателем и детектором располагается экран, выполненный из свинца, а между детекторами – из вольфрама.*

Достоинства и недостатки

ГГК-II

- Малая глубина исследования (10-15 см);*
- Сильное влияние ПЖ, глинистой корки и обсадки скважины.*

Селективный ГГК

- *Аппаратура идентична.*
- *Оценивает атомный номер химического элемента.*
- *Основан на регистрации гамма-квантов «фотоэффекта».*
- *Источники: Se (175), Tm (170) – мягкое излучение.*

Решаемые задачи

ГГК-II

- *Определение плотности горных пород;*
- *Литологическое расчленение геологического разреза;*
- *Определение коэффициента пористости.*

ГГК-С

- *Определение содержание свинца, ртути, сурьмы, железа;*
- *Определение зольности углей.*

ЦИФРОВАЯ АППАРАТУРА ЛИТОПЛОТНОСТНОГО КАРОТАЖА ЛПК-Ц

Технические характеристики

Диапазоны измерения:

плотности горных пород, г/см ³	1,5-3
эффективного атомного номера, ед	10-20

Погрешность измерения:

плотности, %	±2
эффективного атомного номера, ед	±0,25

Количество уровней квантования спектрометра	128
--	-----

Максимальная рабочая температура, °C	120
---	-----

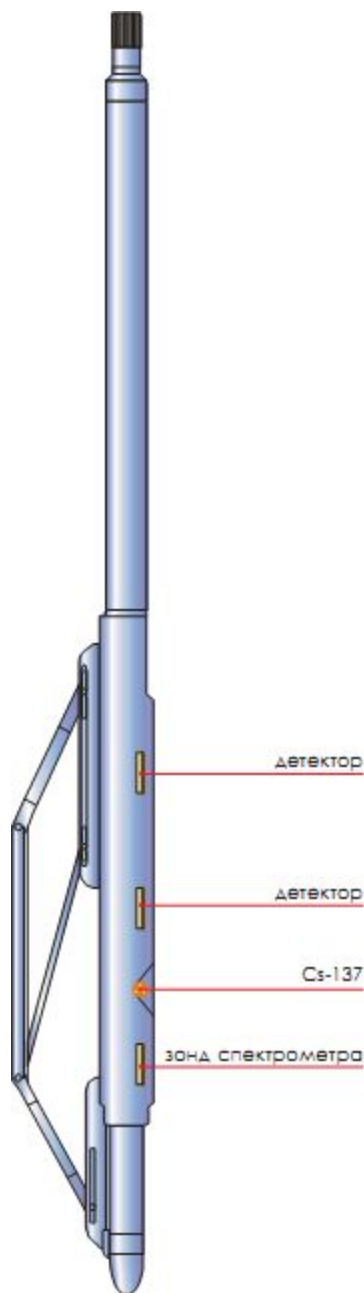
Максимальное рабочее давление, МПа	80
------------------------------------	----

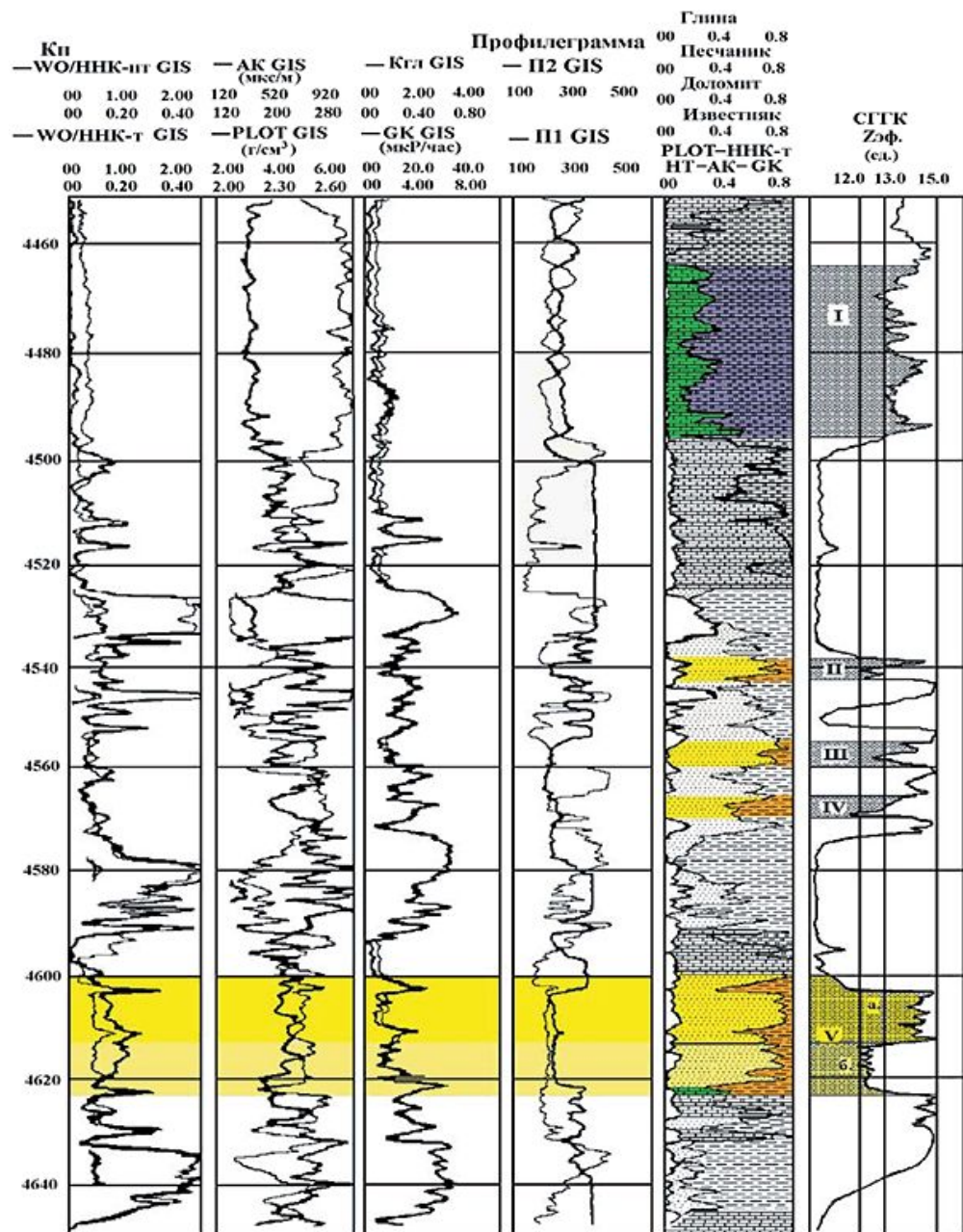
Габаритные размеры скважинного прибора, мм

диаметр	48, 90
---------	--------

длина	1500, 2500
-------	------------

Вес скважинного прибора, кг	70
-----------------------------	----





Условные обозначения: — известняк — доломит — песчаник — глина

Интервалы: (I) 4454-4486м.-известково-доломитистые отложения
(II-IV) 4550-4544м., 4554-4556м., 4568-4572м., 4600-4624м.- терригенные отложения
(V) 4600-4614м.- полимиктовый песчаник(а), 4614-4624м.-песчаник кварцевый(б)

- одновременное определение плотности ρ и эффективного атомного номера $Z_{эфф.}$;
- повышенная точность определения ρ и $Z_{эфф.}$ за счет анализа полного спектра рассеянного гамма-излучения при определении $Z_{эфф.}$

Нейтронный каротаж

- *Метод, основанный на измерении интенсивности вторичного излучения надтепловых и тепловых нейтронов или гамма-квантов, облученных стационарным потоком быстрых нейтронов.*

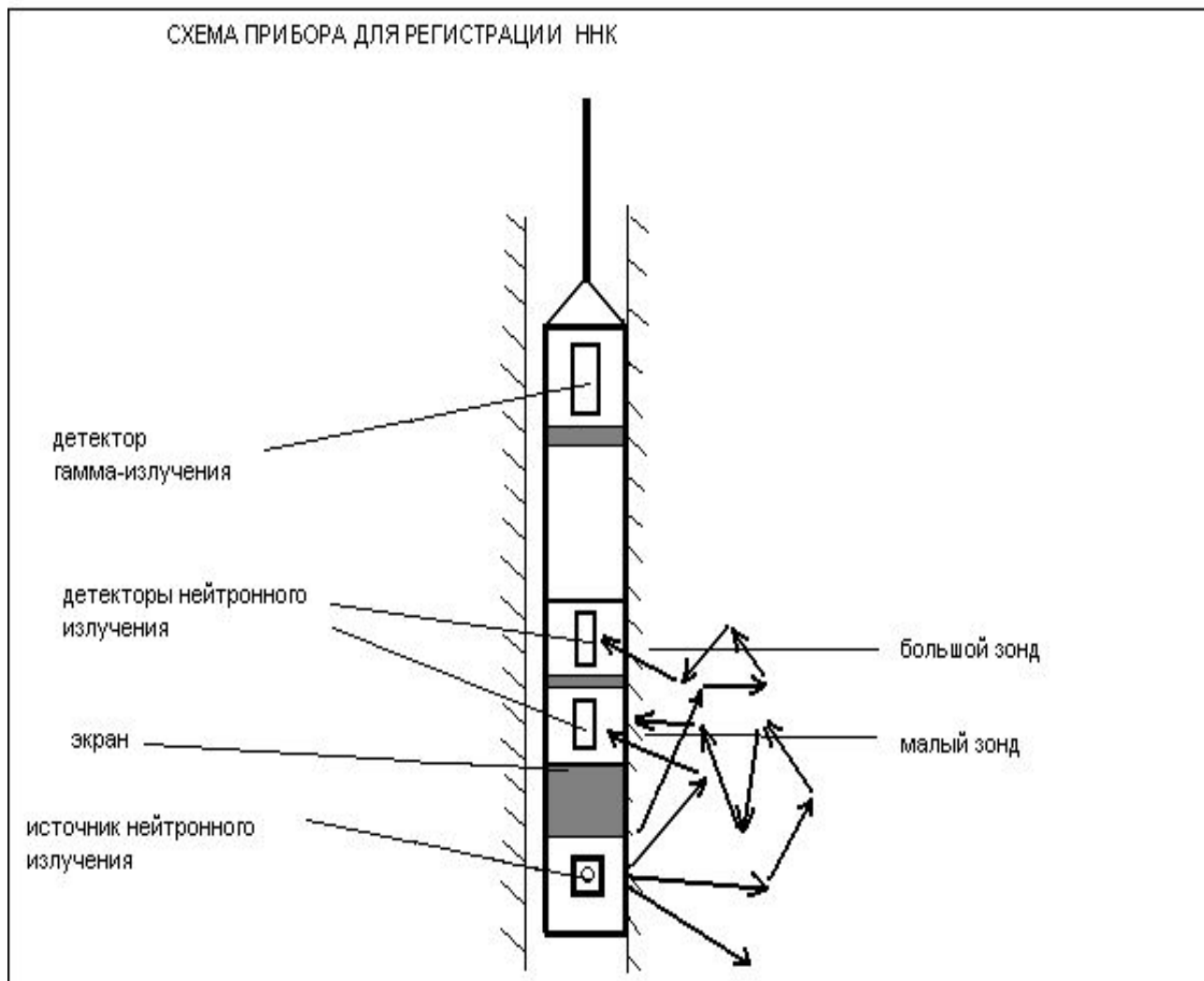
Методика проведения

В зависимости от регистрируемого излучения различают: нейтронный каротаж по надтепловым нейтронам – ННК-НТ; нейтронный каротаж по тепловым нейтронам - ННК-Т; нейтронный гамма-каротаж – НГК.

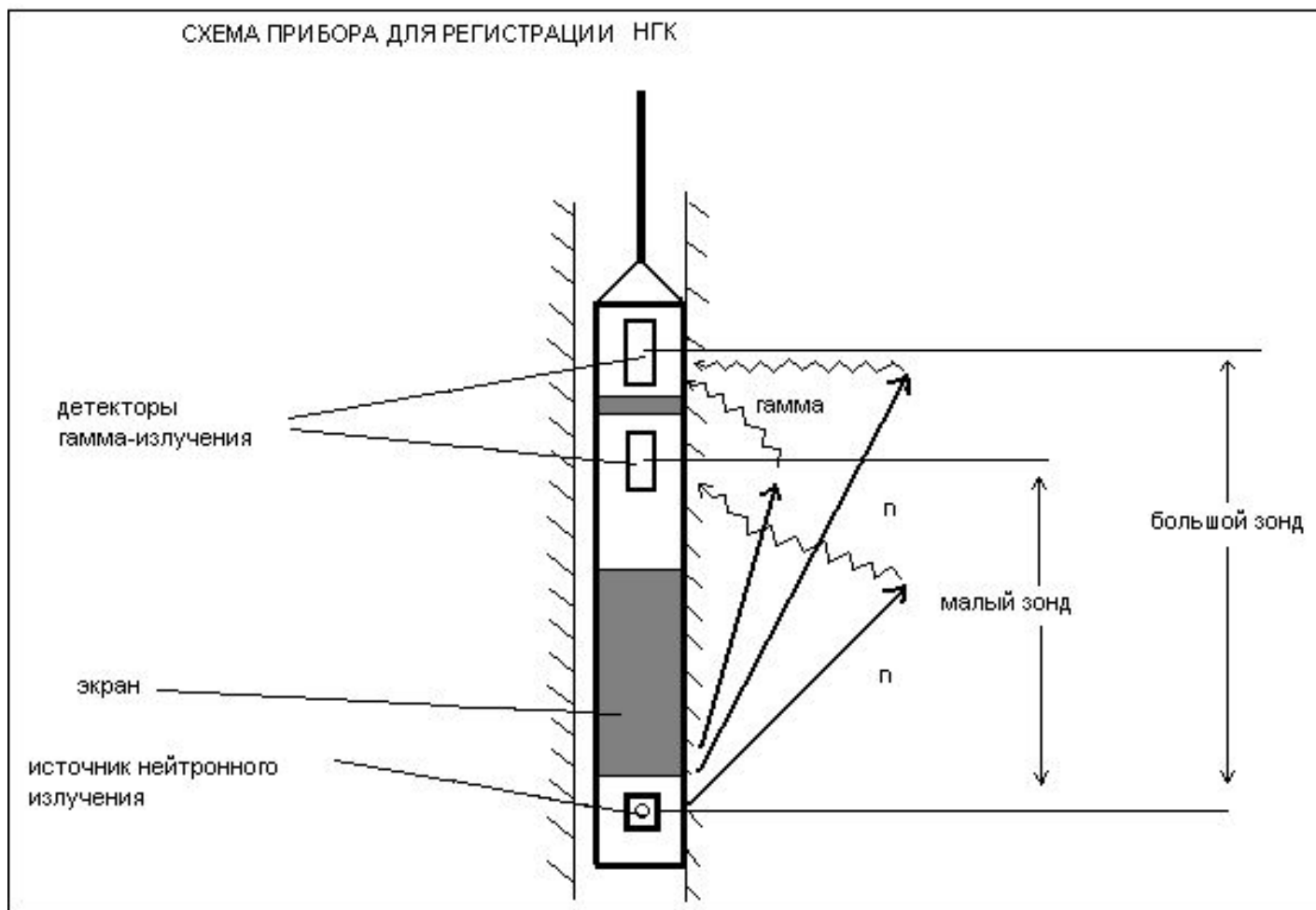
Первые два вида исследований выполняют, как правило, с помощью компенсированных измерительных зондов, содержащих два детектора нейтронов.

НГК – однозондовыми или двухзондовыми приборами, содержащими источник нейтронов и один или два детектора гамма-излучения.

Аппаратура НК



Аппаратура НГК



Физические основы

- *Источник испускает быстрые нейтроны с энергией более 100 КэВ, обычно 3,0-3,5 МэВ.*
- *Нейтроны с энергией 0,5 эВ – тепловые, с энергией 0,3-10 эВ – надтепловые.*
- *Процесс замедления – приобретение нейтроном тепловой энергии с момента вылета из источника.*
- *Водород – аномальный источник замедления.*
- *Тепловые нейтроны участвуют в тепловом движении атомов и молекул, не теряя энергии (диффузия). Нейтроны поглощаются ядром. Процесс поглощения связан с испусканием гамма-квантов (ГИРЗ). Наибольшая вероятность ГИРЗ – хлор.*

Ядерно-физические свойства

- При взаимодействии нейтронов с природными объектами разделяют два основных процесса: 1) замедление быстрых нейтронов; 2) диффузия тепловых нейтронов. Эти процессы разделяются во времени.

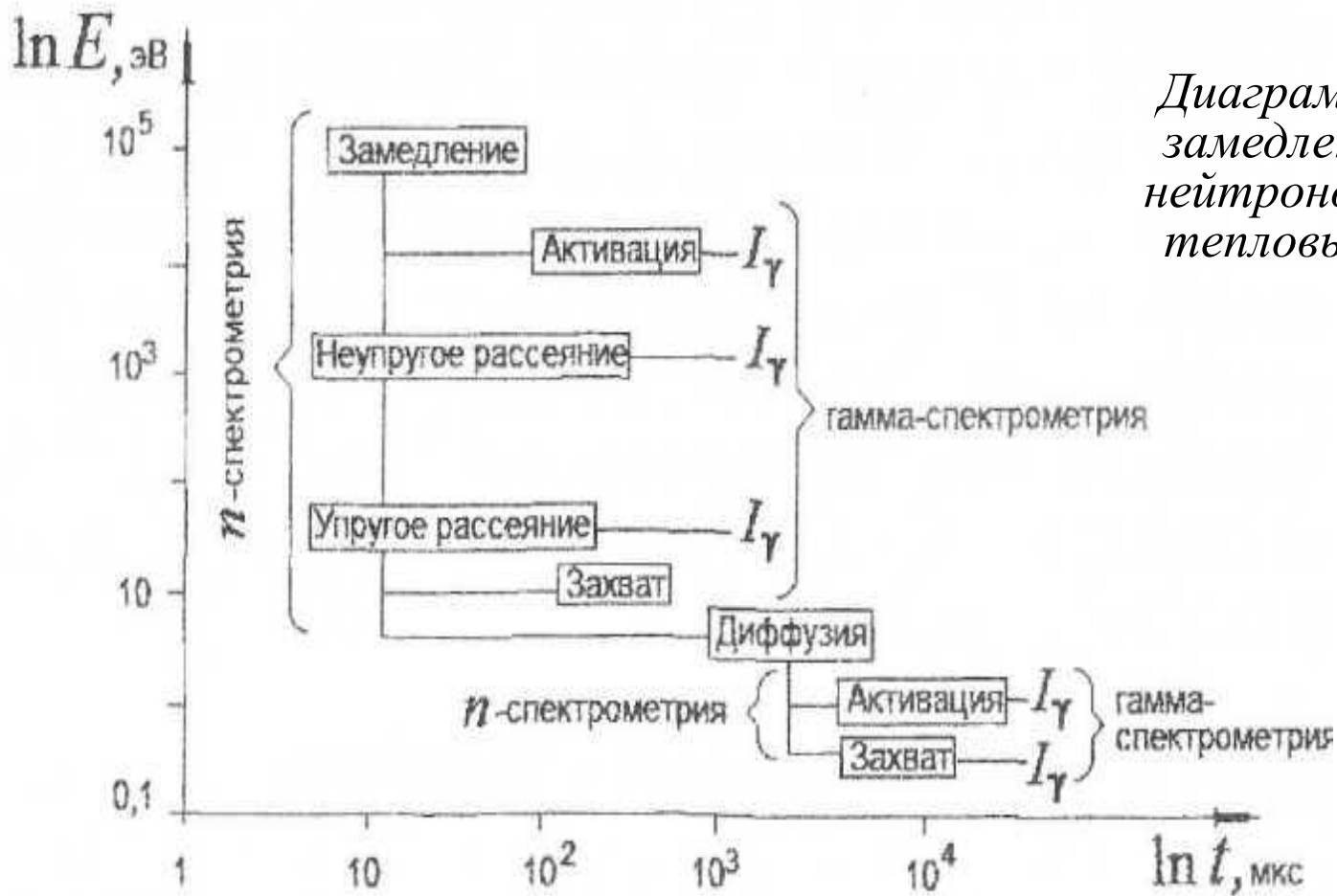


Диаграмма процессов замедления быстрых нейтронов и диффузии тепловых нейтронов

Влияние длины зонда на показания НК

- Доинверсионные зонды: показания НК-НТ растут;
- Заинверсионный зонды: показания НК-НТ уменьшаются.

На практике применяют заинверсионные зонды, длиной 40 см (более чувствительны к содержанию водорода, больший радиус исследования).

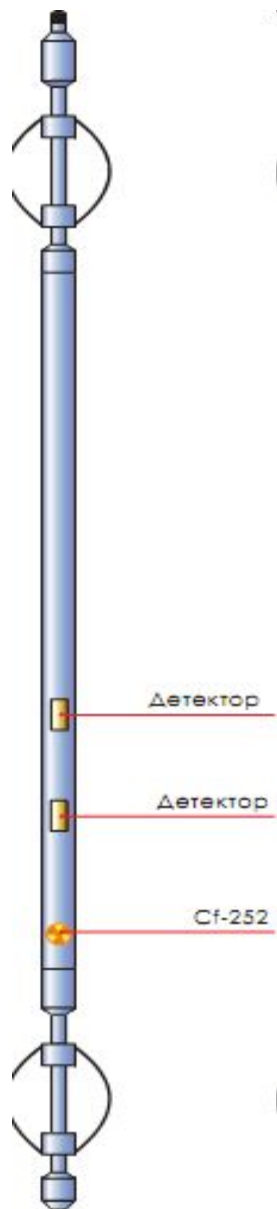
НК-Т применяют заинверсионные зонды длиной 40-50 см.

Аномальные поглотители: хлор, бор, кадмий, литий, марганец, а показания влияют: минерализация ПЖ уменьшает значения.

НГК

- *Показания прибора зависят от количества гамма-квантов, образовавшихся в результате захвате нейтронов атомами и достигающих детектора.*
- *Колво пропорционально числу поглощенных нейтронов и числу гамма-квантов, возникших при захвате одного теплового нейтрона.*
- *Показания определяются содержанием водорода в породе.*
- *Используются заинверсионные зонды длиной 50-70 см.*
- *С увеличением в породе элементов, аномально поглощающих тепловые нейтроны показания НГК растут. Содержание хлора в породе приведет к росту показаний НГК.*

ЦИФРОВОЙ ПРИБОР СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО НЕЙТРОННОГО ГАММА-КАРОТАЖА ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ СНГК-Ш-2



- Диапазоны измеряемых энергий, МэВ:
- спектр ГК 0,06-3,0
- спектр СНГК-Ш 0,03-9,0
- Энергетическое разрешение, % не более 12
- Нестабильность энергетической шкалы, % не более 1
- Мертвое время спектрометрического тракта, мкс 4
- Максимальная длина кабеля, м 5000
- Максимально допустимое давление, МПа 40; 100*
- Диапазон рабочих температур, °С от -5 до +120
- Габаритные размеры, мм:
- диаметр 90
- длина 2950
- Масса прибора, кг 55; 85*
- * в зависимости от материала кожуха

Решаемые задачи:

ННК, НГК:

- *Оценка водородосодержания;*
- *Определение пористости коллекторов;*
- *Мониторинг ВНК и ГЖК при высокой минерализации пластовых вод.*

СНГК:

Выделение и оценка содержания железа, никеля, хрома, титана, хлора, марганца, меди, серы, ртути.

Импульсный нейтронный каротаж.

- *Породу облучают нестационарным потоком быстрых нейтронов с помощью импульсных излучателей.*
- *Различают интегральную и спектрометрическую аппаратуру.*
- *Интегральной аппаратурой регистрируют процесс спада плотности тепловых нейтронов (ИННК) или ГИРЗ (ИНГК).*
- *Спектрометрической аппаратурой регистрируют спектры ГИНР и ГИРЗ (СИНГК).*

ИННК и ИНГК

- ***Источник прибора испускает быстрые нейтроны в течении коротких интервалов времени (10-100 мкс) с частотой (10-1 000 Гц), то есть через каждые 1 000-100 000 мкс.***
- ***Длина зонда – 30-40 см. Точка записи – середина между детектором и источником.***

СИНГК

- ***Используется высокочастотный источник быстрых нейтронов ($>10^9$ нейтронов/сек) с частотой запуска импульсов 10-20 кГц, то есть через каждые 50-100 мкс.***
- ***Модификация СИНГК – С/О каротаж.***

Решаемые задачи:

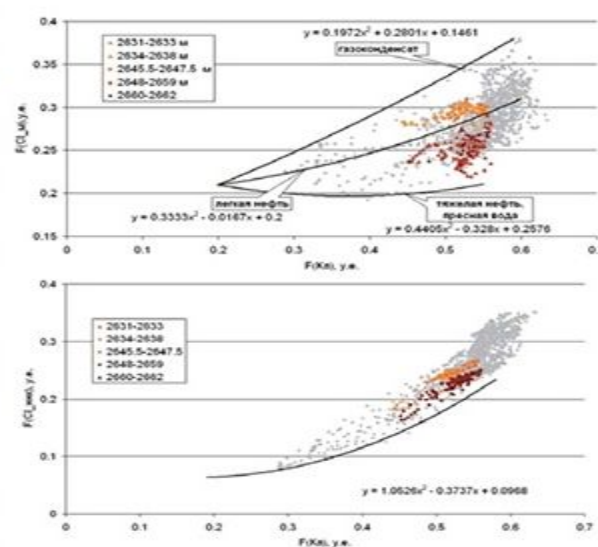
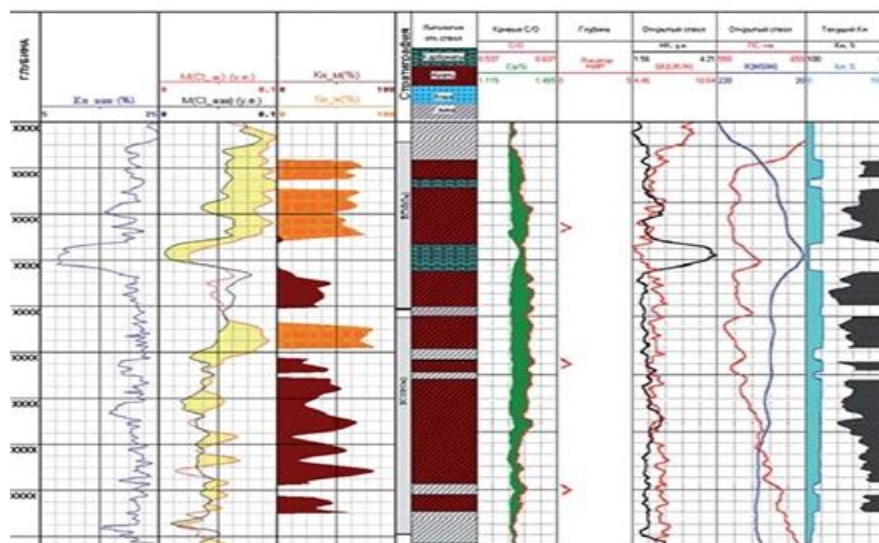
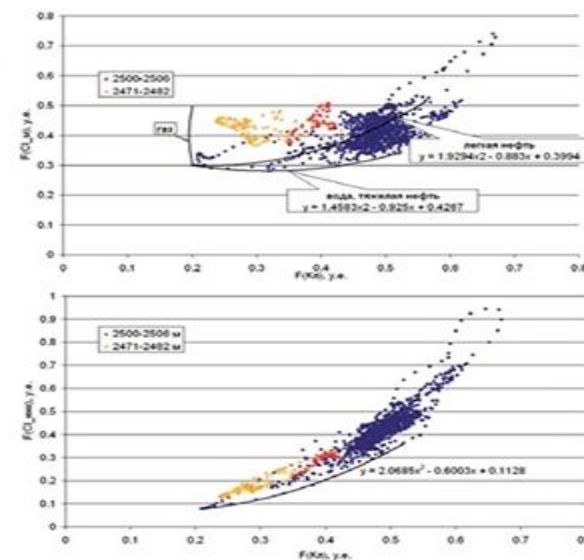
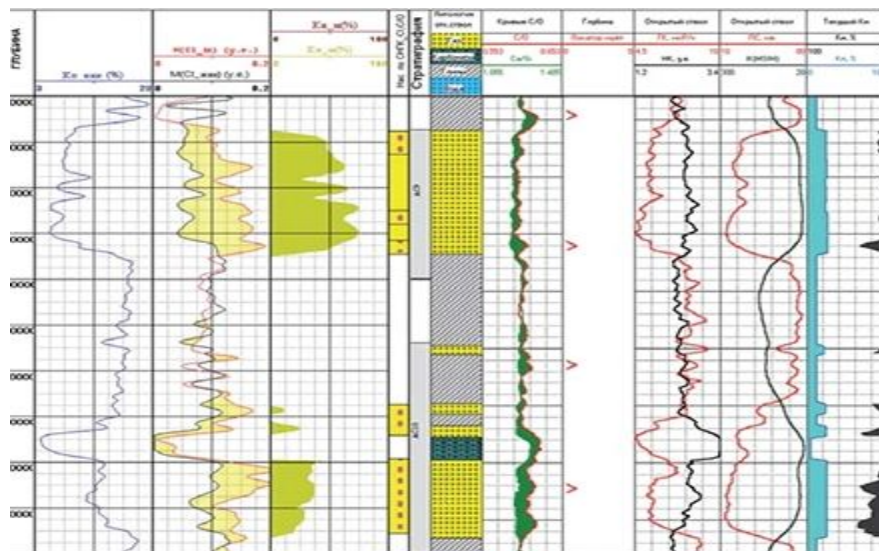
ИННК, ИНГК:

- Оценка водородосодержания;*
- Определение пористости коллекторов;*
- Более точное определение количества водорода в породах по сравнению с НГК.*

СИНГК:

- Определение содержания углерода, кислорода, водорода, кремния, кальция, железа, хлора;*
- Оценка пористости, литологического состава и нефтегазонасыщенности пород.*

Определение характера насыщения и состава углеводородов в коллекторе по комплексу методов СНГК-Cl, 2 ННКт и C/O каротажа



Условные обозначения

