

Гамма – метод (ГМ)

- Заключается в регистрации изменения интенсивности **естественного гамма-излучения** пород I_{γ} в скважине.
- Работы проводят с помощью **скважинных радиометров**. Регистрируются электрические сигналы, пропорциональные интенсивности гамма-излучения.
- Записывается диаграмма, интенсивности гамма-излучения I_{γ} .
- Величина I_{γ} измеряется в импульсах за минуту или в микрорентгенах в час (гаммах).

Гамма – метод (ГМ)

Радиус исследования

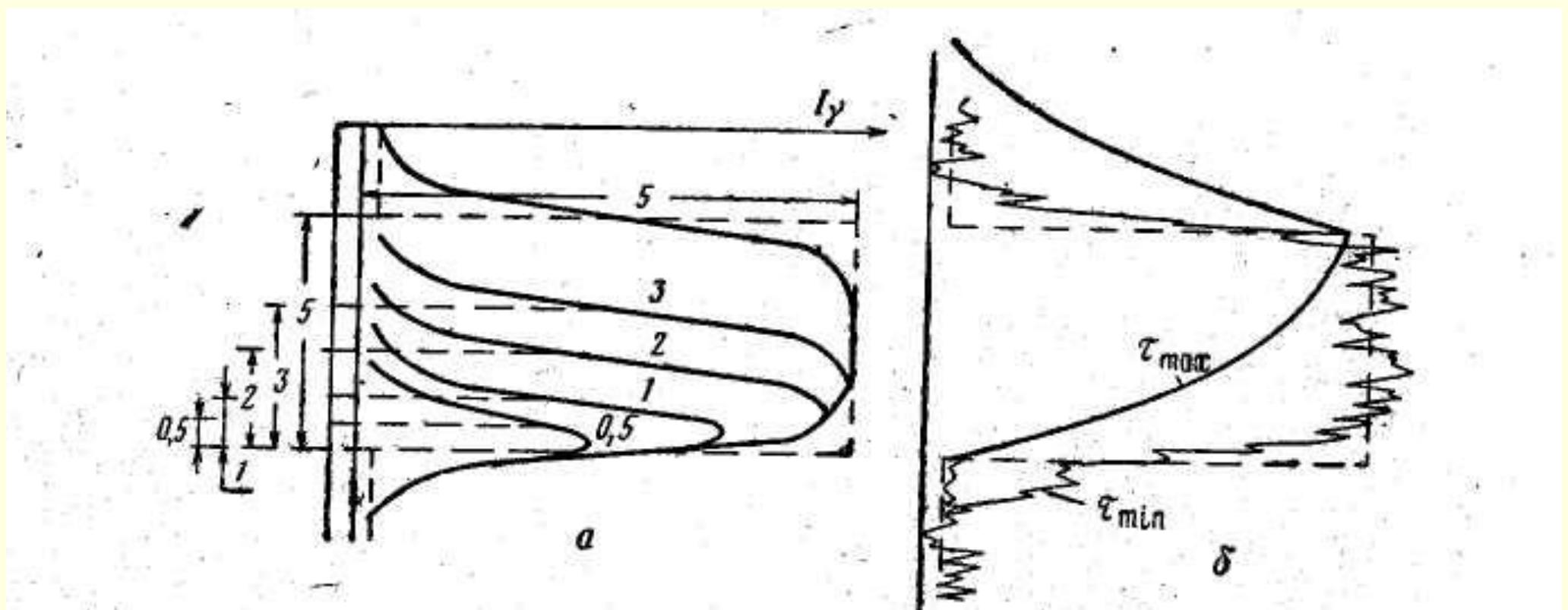
- **Интенсивность гамма-излучения** колеблется около среднего уровня, испытывая **статистические флуктуации**. Для их учета применяются **повторные записи** с меньшей скоростью проведения наблюдений.
- **Гамма-лучи** почти полностью поглощаются слоем породы толщиной **1 - 2 м**, а до **30 % ядерной энергии** не пропускается обсадными трубами, поэтому фиксируется **гамма-излучение пород**, расположенных в радиусе, не превышающем **0,5 м** от оси скважины.
- Еще больше снижают **радиус исследования** увеличение диаметра скважины и наличие воды или бурового раствора в ней.

Гамма – метод (ГМ)

Решаемые задачи

- На диаграммах **гамма-каротажа** выявляются пласты с разной степенью радиоактивности **естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ)**.
- **Максимумами** выделяются породы и руды, содержащие уран, радий, торий, калий-40 и другие радиоактивные элементы, а также граниты, глины;
- **Минимумами** - песчаные и карбонатные породы

Теоретические и практические кривые ГМ



а — теоретические кривые ГМ в скважине при различной мощности пластов (шифр кривых — h в м);

б — практические кривые ГМ при τ_{max} и τ_{min}

Форма кривых ГК. Количественная интерпретация данных

- Теоретические кривые интенсивности I_γ **гамма-излучения** для одиночного пласта мощностью h с повышенной гамма-активностью $q_{\gammaп}$, залегающего в породах с активностью $q_{\gammaвм}$ ($q_{\gammaп} > q_{\gammaвм}$), в скважине диаметром d_c , заполненной неактивным буровым раствором.
- Принято, что **плотность и коэффициенты поглощения** всех сред постоянны. При перемещении индикатора с бесконечно малой скоростью вдоль оси скважины пласт **повышенной гамма-активности** выделяется **симметричной аномалией**
- **Границы пласта** выделяются по точкам **перегиба** кривой. Значение $I_{\gammaгр}$ определяется на расстоянии $1/2 \Delta I_\gamma$ от линии показаний $I_{\gammaвм}$ во вмещающих породах.
- При уменьшении **мощности пласта** величина **амплитуды** снижается и точки, соответствующие **границам**, смещаются к **вершине аномалии**.

Учет влияния окружающей среды, конструкции скважин на регистрируемую ИНТЕНСИВНОСТЬ

- Практические **кривые гамма-активности** отличаются от **теоретических кривых** наличием иззубренности кривой, из-за статистической флуктуаций и влияния инерционности регистрирующей аппаратуры, связанной с наличием в измерительном канале интегрирующей ячейки, которая характеризуется **постоянной времени $T = RC$** .
- **Постоянная времени T** выбирается при записи диаграмм I_{γ} так, чтобы дорожка **статистических флуктуаций** была **наименьшей**, а **скорость регистрации** - **наибольшей**.
- Регистрация диаграммы ведется снизу вверх, аномалия за счет инерционности интегрирующей ячейки при большой скорости записи **V** либо при большом значении **T** медленно нарастает против подошвы пласта высокой активности и медленно спадает выше его кровли.
- Аномалия становится асимметричной, максимум смещается вверх, располагаясь на уровне кровли пласта. Чем выше **VT** , тем больше понижается **ΔI_{γ}** по сравнению с **$\Delta I_{\gamma\infty}$** и увеличивается ширина аномалии **h_{ϕ}** по сравнению с истинной мощностью **h_{ϕ}** пласта.
- Степень снижения **ΔI_{γ}** по сравнению с **$\Delta I_{\gamma\infty}$** характеризуется коэффициентом **$U_{\gamma} = \Delta I_{\gamma} / \Delta I_{\gamma\infty}$**

Кривые гамма-метода

Кривые I_γ против пластов большой (а) и малой (б) мощности.

Шифр кривых $-v \cdot \tau$, м/ч · с

Измерение на отдельных точках, (при $v \cdot \tau \rightarrow 0$) кривая симметрична

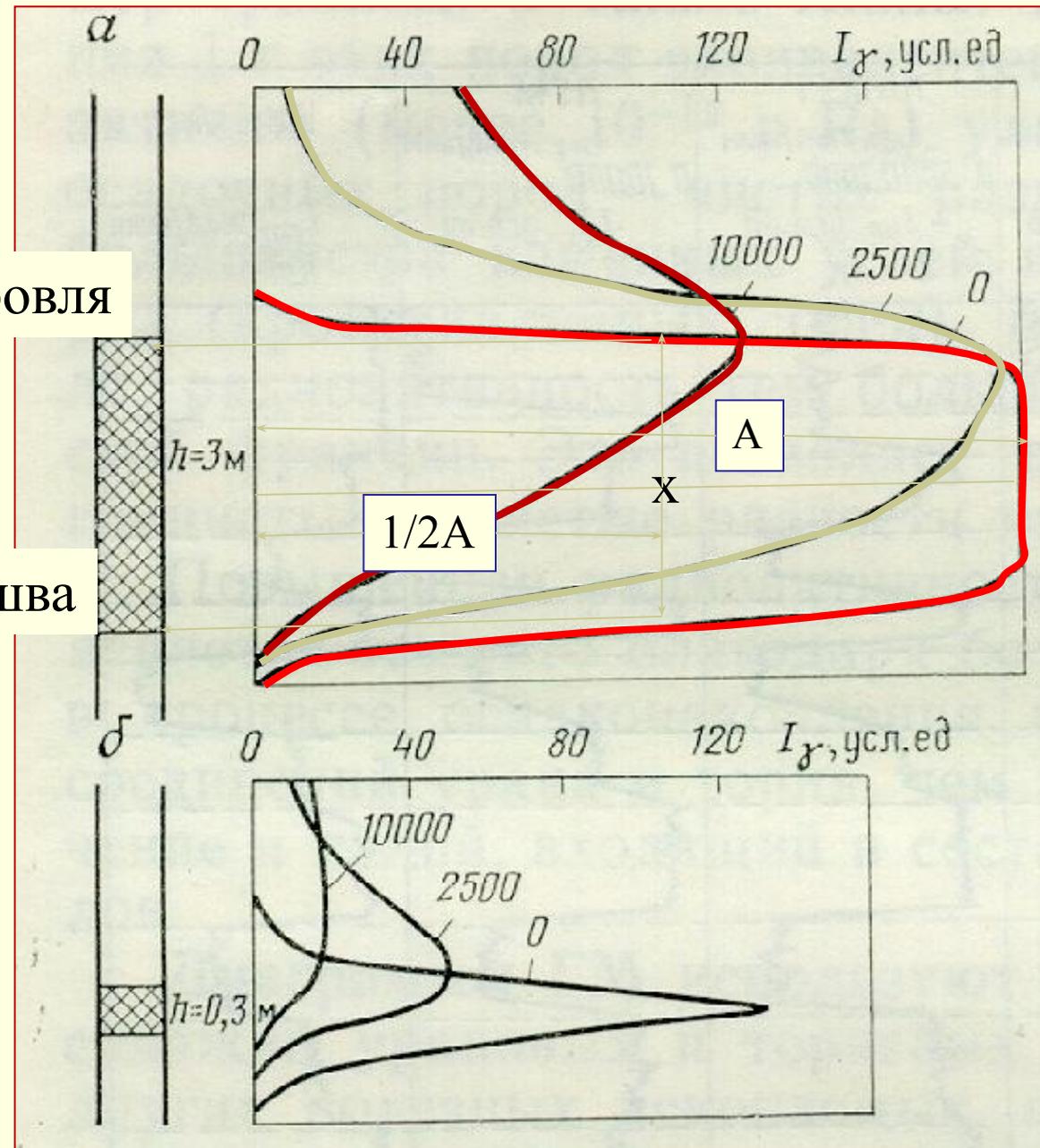
При $v \cdot \tau \neq 0$ кривая сдвигается по направлению движения прибора, амплитуда уменьшается и кривая становится ассиметричной

При мощности пласта > 1 м граница определяется по правилу $1/2 A_{max}$

При малой мощности пласта амплитуда уменьшается тем сильнее, чем меньше значение $h / v \cdot \tau$

кровля

подошва



Зависимость формы аномалии ГК от скорости движения зонда

- При выполнении **ГК** важным моментом является соблюдение оптимальной скорости движения скважинного снаряда.
- Все радиометры обладают определенной постоянной времени интегрирующей ячейки и скорость каротажа должна быть такой, чтобы при движении детектора против пласта минимальной интересующей исследователя мощности h показания радиометра успели достичь максимальных значений t_{TM} .
- При более высокой скорости, аномалия **ГК** получается меньшей интенсивности и растянутой по глубине.
- Оптимальную скорость каротажа вычисляют, исходя из мощности пластов h в метрах и постоянной времени $t_{я}$ в секундах по формуле.
- В общем случае скорость **ГК** не должна превышать 360-400 м/час.

Зависимость формы аномалии от скорости движения зонда

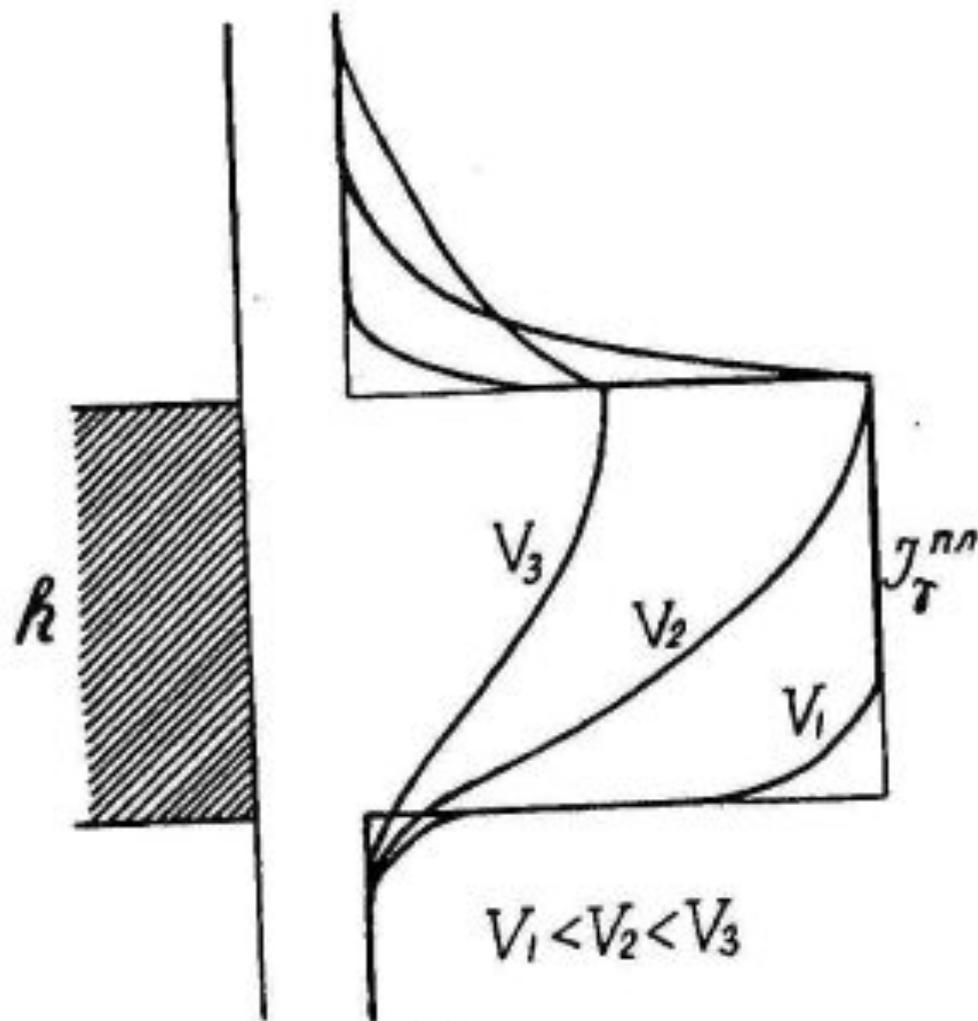
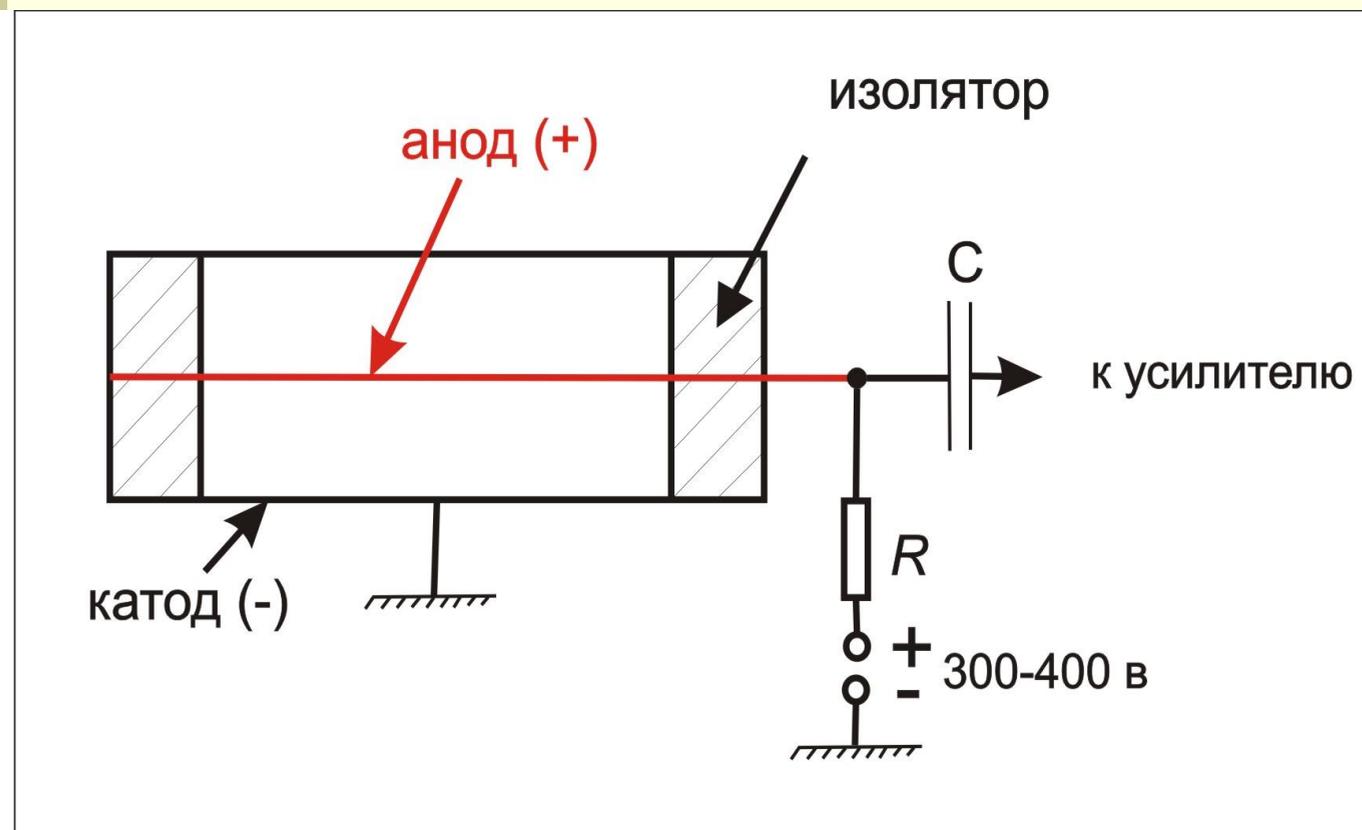


Рис. 12.1. Зависимость конфигурации аномалии гамма-каротажа над пластом повышенной радиоактивности от скорости каротажа

Гамма-метод (ГК). Аппаратура измерения гамма-излучения

Газоразрядный счетчик (Гейгера-Мюллера),
(непропорциональные Еγ, регистрируют 1 -2 % γ-квантов)



$$\tau = C * R$$

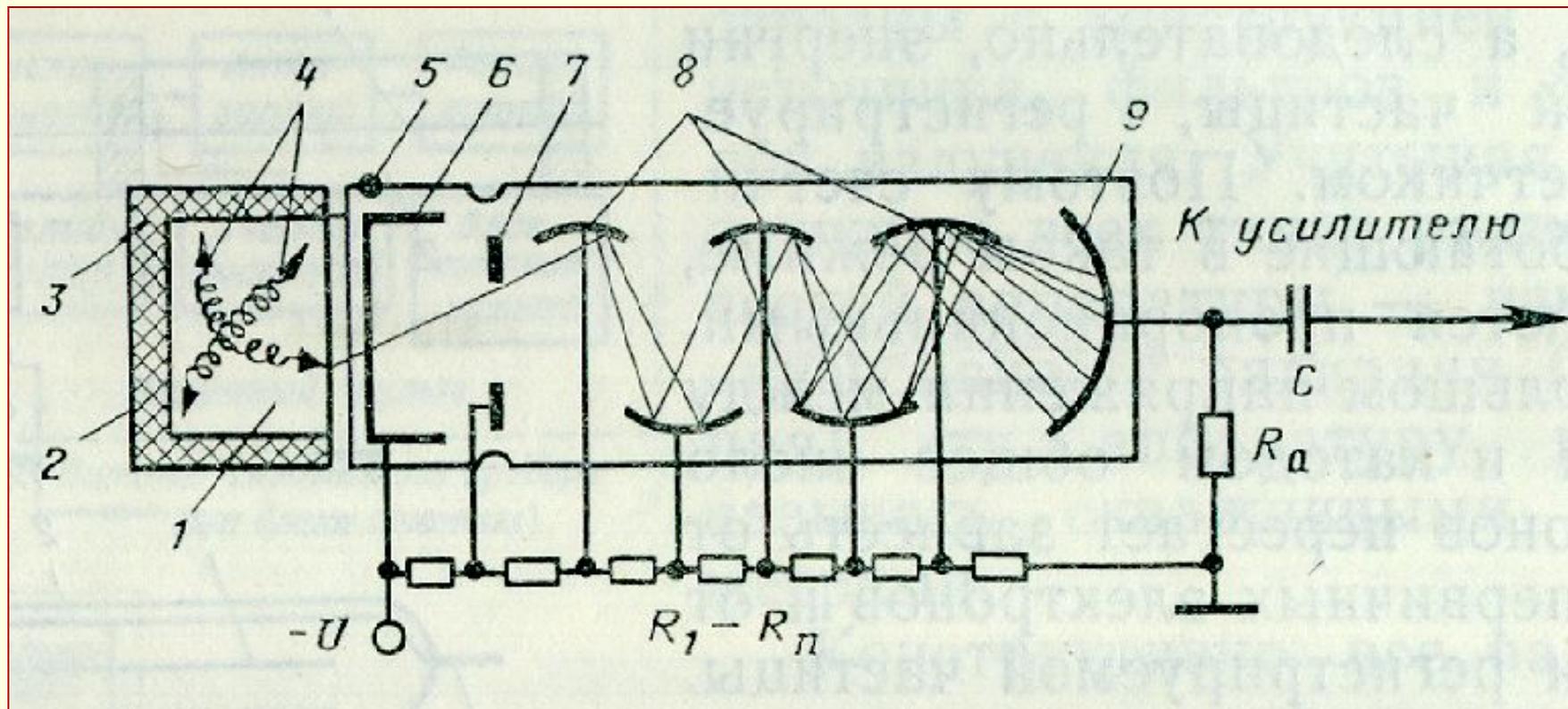
τ – постоянная времени интегрирующей ячейки, (с)

R- сопротивление
C -конденсатор

Аппаратура измерения гамма-излучения:

Сцинтилляционный счетчик

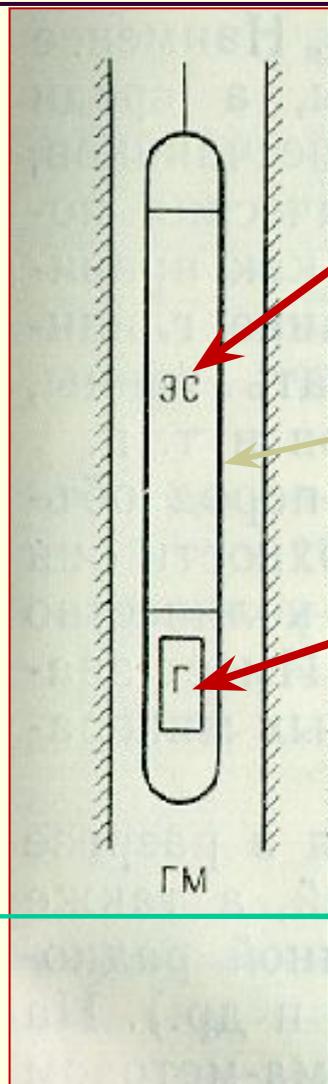
(пропорциональные $E\gamma$, регистрируют до 30% γ -квантов)



Постоянная времени интегрирующей ячейки:

$\tau = C * R$ - время накопления разрядов (сигнала) – дискретность записи диаграммы

Скважинные приборы радиоактивных методов

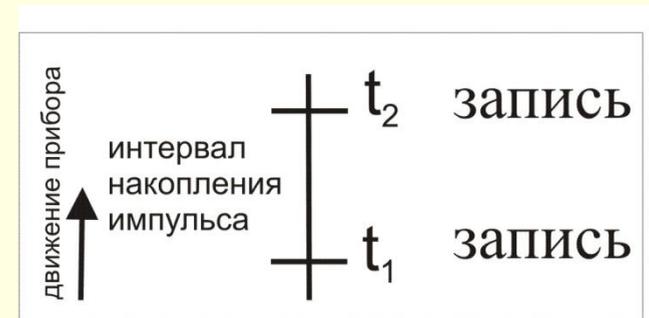


электронная схема интегрирующей ячейки

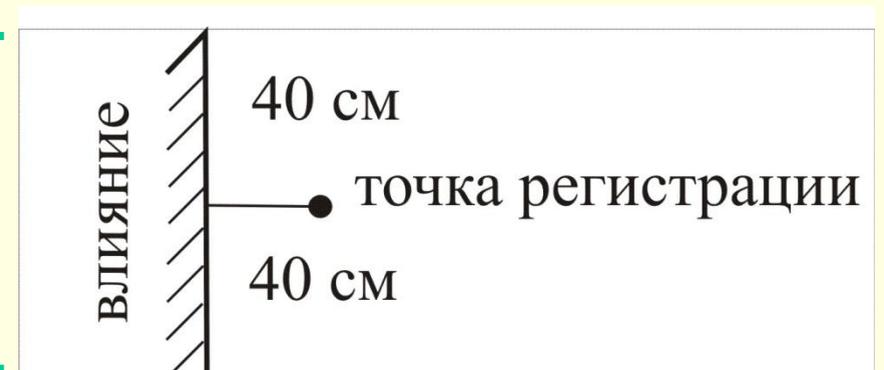
ЗОНД

детектор гамма-излучения

радиус зоны исследования



$$\tau = t_2 - t_1$$



Выбор параметров регистрации

При измерениях рекомендуется:

- Время стояния прибора против пласта –
 $t = 3-6$ сек
- Скорость подъема прибора-
 $V = 500-600$ м/ч –при исследованиях вдоль
всего ствола;
 $V = 100-200$ м/ч- при детальны
исследованиях

Диаграммы радиоактивных методов (ГК)

Песчаник

размытый пласт с глубокой каверной

известняк высокопористый

известняк низкопористый

ангидрид

ГИПС

глины

калийная соль

каменная соль

метаморфизованная порода

водоносный

нефтеносный

газоносный



Обработка и интерпретация диаграмм ГМ

1. Литологическое расчленение разреза
2. Снятие значений гамма-активности
3. Приведение к условиям пласта бесконечной мощности
4. Выбор опорных пластов
5. Расчет двойного разностного параметра
6. Определение $K_{\text{гл}}$.
7. Определение литологии пласта

Литологическое расчленение разреза

- Качественная интерпретация диаграмм **ГК** заключается в **литологическом расчленении разреза**, которое основано на различии горных пород по их радиоактивности.
- В общем случае однозначное определение пород по одним лишь диаграммам **ГК** невозможно и решать эту задачу следует при комплексном использовании диаграмм всех видов каротажа (КС, ПС, НТК, АК и др.).
- Наиболее эффективен **ГК** при поисках и разведке руд **ЕРЭ**, например, урановых руд или калийных солей.

Определение литологии пласта

№п/п	Кгг	Литология
1	0 – 0,1	Крупнозернистый песчаник (КЗП)
2	0,1 – 0,2	Среднезернистый песчаник (СЗП)
3	0,2 – 0,3	Мелкозернистый песчаник (МЗП)
4	0,3- 0,4	Тонкозернистый песчаник (ТЗП)
5	0,4 – 0,5	Крупнозернистый алевролит (КЗА)
6	0,5 – 0,6	Среднезернистый алевролит (СЗА)
7	0,6- 0,7	Мелкозернисты алевролит (МЗА)
8	0,7 – 0,8	Тонкозернистый алевролит (ТЗА)
	больше 0,8	Аргиллит

Количественная интерпретация диаграмм ГК

- При **количественной** интерпретации диаграмм ГК получают исходные данные для подсчета запасов радиоактивных руд.
- **Количественная интерпретация диаграмм ГК** основывается на зависимости площади аномалии **S** от мощности радиоактивного интервала **h** и содержания в нем радиоактивного элемента **q**, выражаемой уравнением:

$$S = K_0 \cdot qh,$$

где K_0 - коэффициент пропорциональности, определяющий интенсивность гамма-излучения пласта насыщенной мощности при единичном содержании в нем радиоактивного элемента.

- Величину K_0 определяют экспериментально по измерениям на моделях пластов с известным содержанием радионуклида.

Например, для урановых руд гидрогенного типа и счетчика МС-13 $K_0 = 115$ мкР/час на 0,01% *U*.

Расчет площади аномалии

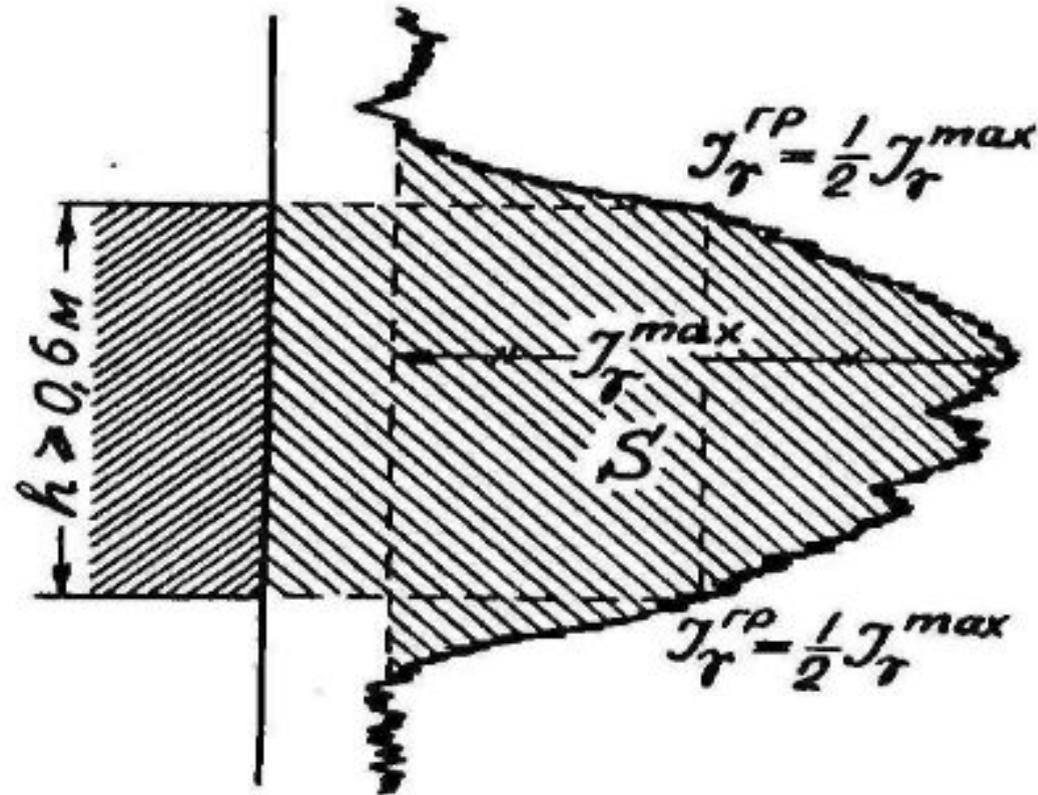


Рис. 12.2. Определение контактов пласта большой мощности и расчет площади аномалии по диаграмме ГК

Определение мощности

- Для определения **мощности** рудного интервала используют способ $1/2 I_{\gamma}^{max}$, $4/5 I_{\gamma}^{max}$ заданной интенсивности и др.
- Выбор способа зависит от мощности рудного подсечения, равномерности оруденения и некоторых других факторов.
- Способ $1/2 I_{\gamma}^{max}$, применяют при условии насыщенной по γ -излучению мощности рудных тел ($h \geq 0,6$ м) и при равномерном оруденении.
- Амплитуду аномалии I_{γ}^{max} отсчитывают от уровня γ -фона вмещающих пород с учетом разности показаний над перекрывающими и подстилающими породами.
- Другие способы определения h рассматриваются в специальной литературе.

Определение содержания

- Определение содержания для всех видов аномалий производится по формуле:

$$q = \frac{S}{100 K_0 \cdot h}$$

- где h - мощность интервала, м.
- Значение площади S в см-мкР/час определяется по замкнутому контуру, ограниченному кривой ГК, осью глубин и контактами пласта.

Поправка на поглощение в буровом растворе и обсадных трубах

- При определении содержаний **ЕРЭ** необходимо учитывать, что какая-то часть **γ-излучения** поглощается в буровом растворе и обсадных трубах.
- Поправка на поглощение в буровом растворе $\Pi_{бр}$ и обсадных трубах
- $\Pi_{тр}$ определяется по номограмме, с 2 кривыми: одна - для раствора (воды), другая - для железа (обсадных труб).
- Исправленная площадь рассчитывается по формуле:

$$S_{испр} = \frac{S \cdot 10^4}{(100 - \Pi_{бр}) \cdot (100 - \Pi_{тр})}$$

где $\Pi_{бр}$ и $\Pi_{тр}$ - доли излучения в процентах, поглощенные, соответственно, буровым раствором и трубами.

Эти величины снимаются с номограммы по разности в диаметрах скважины и скважинного прибора ГК и по толщине обсадной трубы

Номограмма для определения поправки

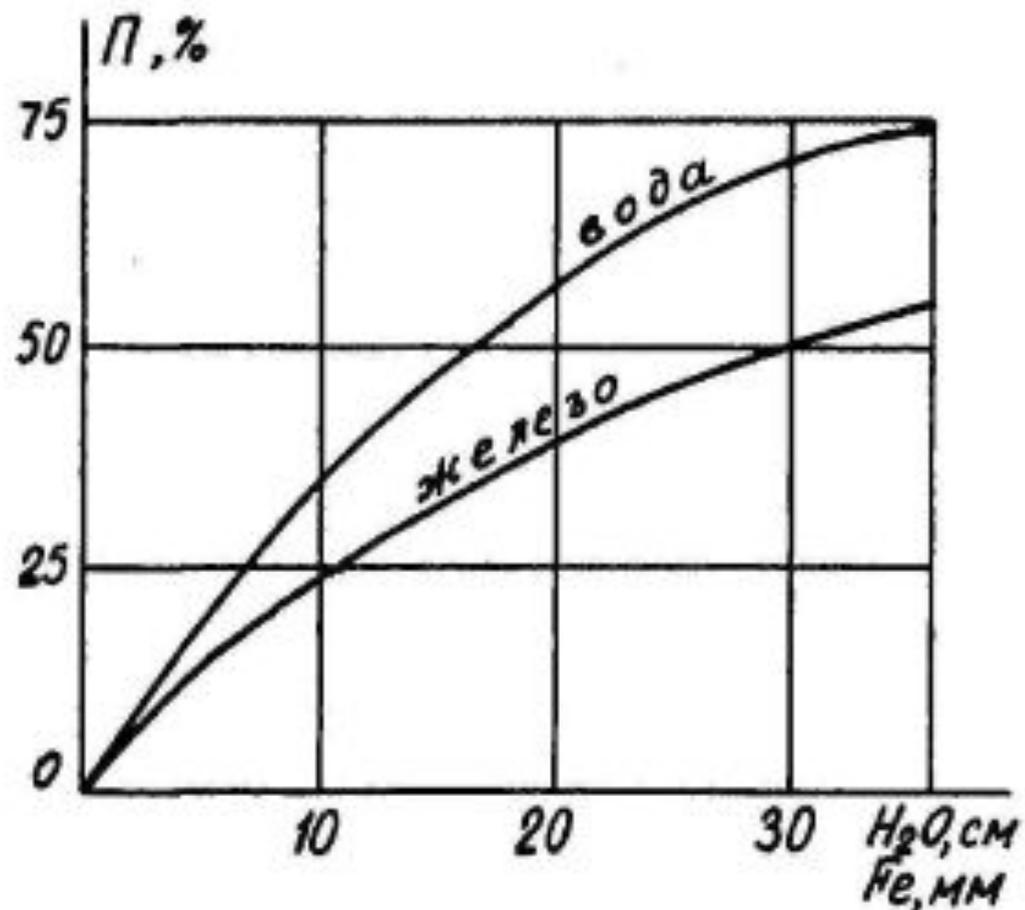


Рис. 12.3. Номограмма для определения поправки за поглощение гамма-излучения в воде и в обсадных трубах

Поправка на состояние радиоактивного равновесия

- При определении содержания U необходимо вводить еще поправку на состояние радиоактивного равновесия между ураном и радием, поскольку сам уран γ -квантов практически не дает, а все γ -излучение идет от радия и продуктов его распада.
- Состояние радиоактивного равновесия определяют по содержанию в руде U и Ra , которые находят по лабораторным анализам керна.
- В равновесной руде содержание Ra в 3,4-10' раз меньше, чем U . Соответственно, в неравновесной руде с поправкой на состояние радиоактивного равновесия содержание U :

$$q_{исп} = \frac{q}{K_{pp}}$$

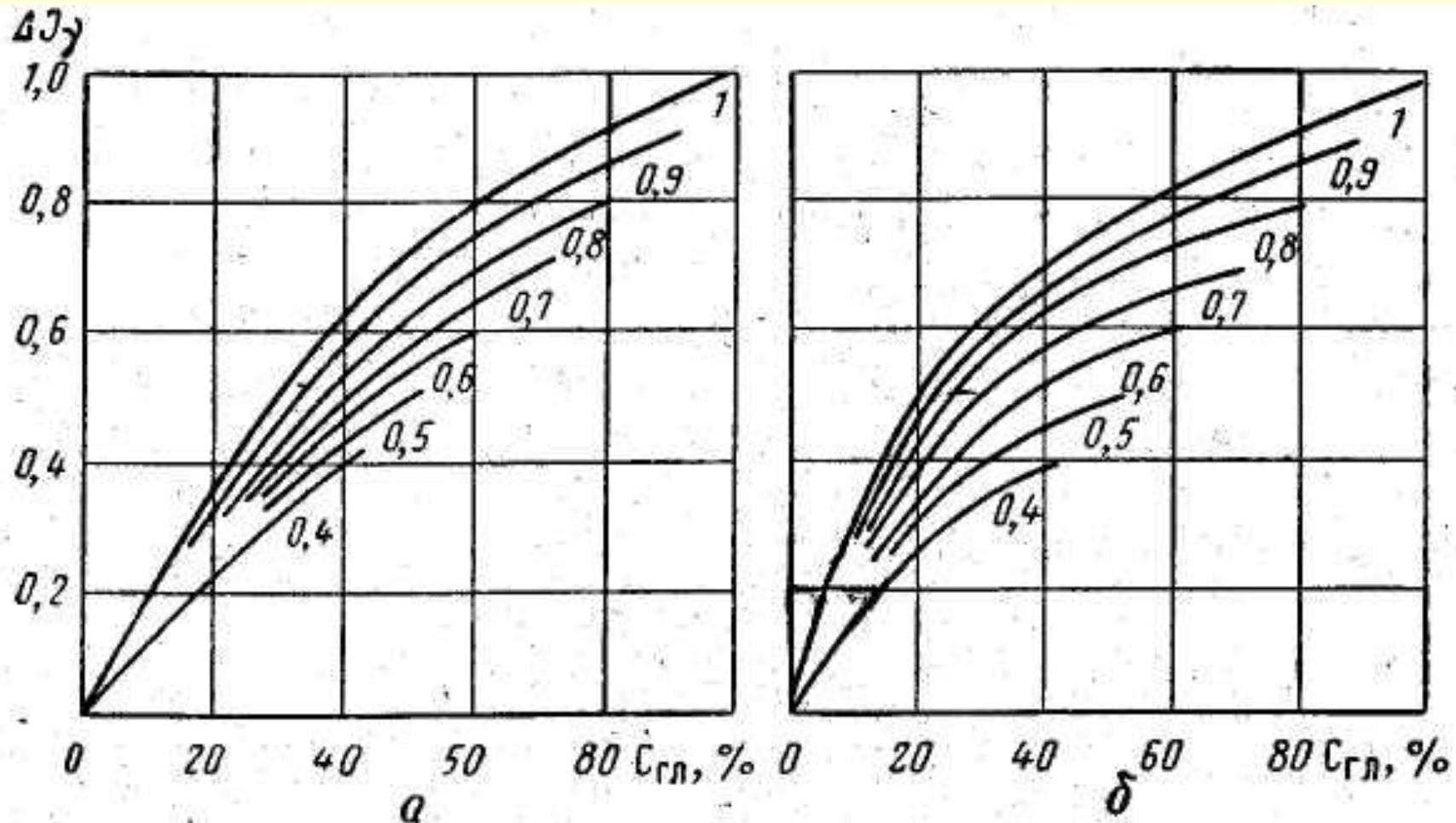
Определение глинистости коллектора

- В скважинах нефтяных и газовых месторождений определяют **глинистость коллекторов**. На номограмме одна линия соответствует глинам, другая - чистым кварцевым пескам. Величина отклонения I_y от этих линий на исследуемом пласте линейно связана с глинистостью коллектора $C_{гп}$.

$$\lg C_{гп} = aI_y - b$$

- где a и b - постоянные, значения которых определяют для каждого месторождения на основе лабораторного анализа керна.

Определение глинистости коллектора



Обобщенные зависимости $\Delta J_y = f(c_{гп})$ для осадочных пород
а — палеозойские отложения Предуралья; б — мезозойские и третичные
отложения южных районов. Шифр кривых — поправочный коэффициент K

Контрольные вопросы

1. Что такое естественная радиоактивность?
2. В чем заключается сущность гамма-каротажа?
3. Основное назначение гамма-метода?
4. Как влияют на показания I_γ радиоактивность раствора и диаметр в необсаженной скважине?
5. К чему приводит искажение диаграммы I_γ , вызванное влиянием обсадной колонны и цементного кольца?
6. Правила определения границ пластов по диаграммам ГК.
7. Какие Вам известны детекторы гамма-квантов?
8. Какие основные узлы входят в состав каротажных радиометров?
9. Почему ограничена скорость ГК?
10. Какой способ используют для определения границ пластов большой мощности по диаграммам ГК?
11. Как определяют по ГК содержание радиоактивных элементов?
12. Какие мешающие факторы учитывают при количественной интерпретации диаграмм ГК?

Методы вторичного гамма-излучения

ГАММА-ГАММА МЕТОД

Гамма-гамма-каротаж

- **Гамма-гамма-каротаж (ГГК)** заключается в облучении горных пород γ -квантами искусственного источника и измерении рассеянного γ -излучения.
- Различают две основные модификации ГГК:
- **плотностной ГГК (ГГКП)** - породы облучают источником жестких гамма-квантов.
- **селективный ГГК (ГГКС)** - породы облучают источником мягких гамма-квантов с энергией менее 0,3—0,4 МэВ.

Скважинный прибор ГГ метода

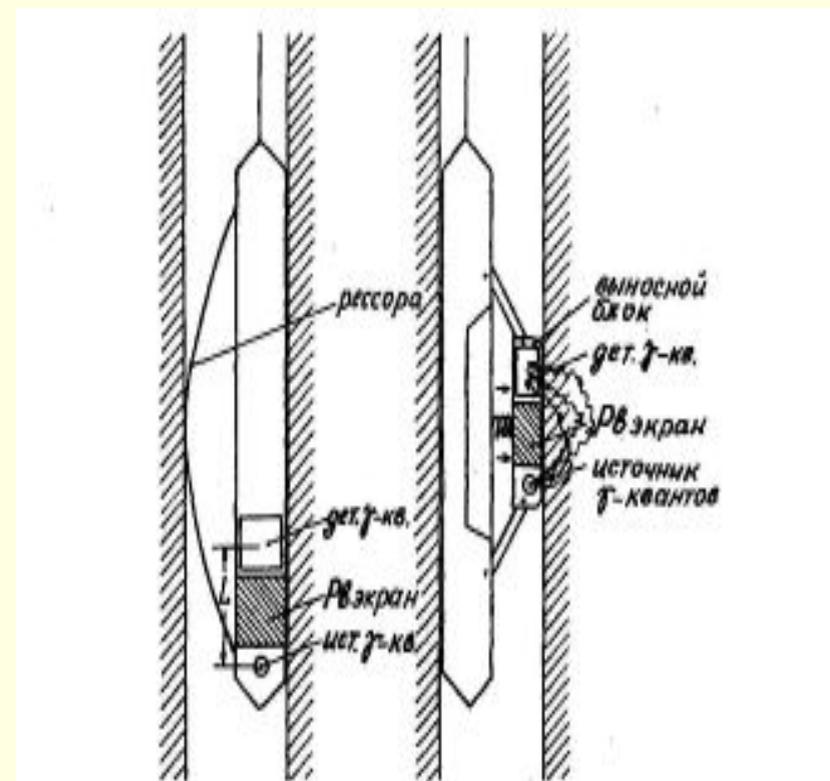
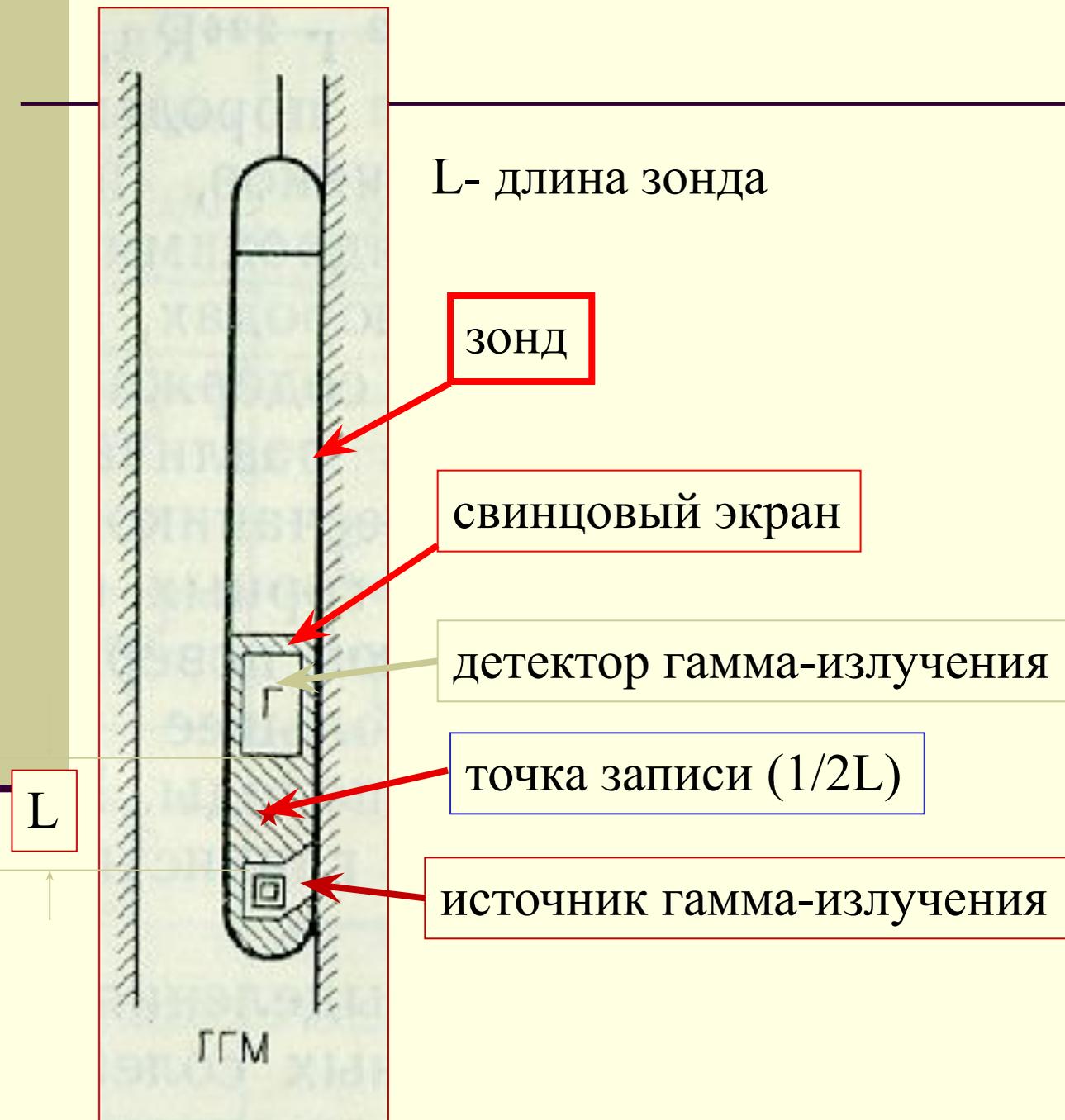


Рис. 12.4. Устройство скважинных снарядов для гамма-гамма-каротажа

Аппаратура ГГК

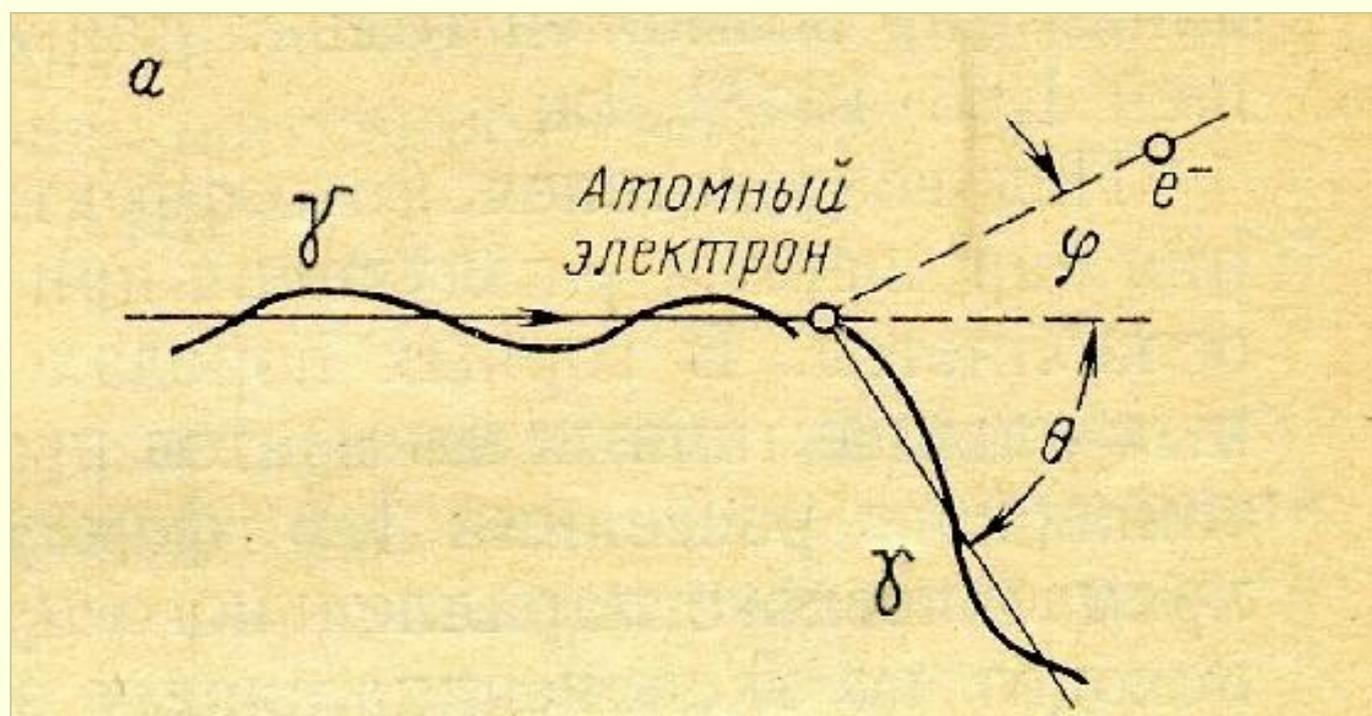
- Аппаратура ГГК устроена так же, как и аппаратура ГК, но скважинный снаряд дополняется источником **γ -квантов**. Расстояние между центрами детектора и источника называется ***длиной зонда***. Чтобы прямое **γ -излучение** источника не попадало на детектор, между ними помещают свинцовый экран.
- Рассеянное излучение имеет более низкую энергию, чем прямое, поэтому для уменьшения его поглощения в буровом растворе детектор **γ -квантов** так же, как и источник, прижимают к стенке скважины.
- Для уменьшения влияния **кавернозности** скважин и детектор, и источник могут быть размещены в небольшом выносном блоке, прижимаемом к стенке скважины и способном заходить в каверны

Плотностной гамма-гамма-каротаж (ГГК-П)

- Плотностной гамма-гамма-каротаж (ГГК-П) основан на изучении комптоновского рассеяния γ -квантов в горных породах.
- Этот эффект наблюдается при достаточно высокой энергии γ -квантов, то в ГГК-П используют источники с энергией $E_\gamma > 0,5$ МэВ.
- Такими источниками являются искусственные изотопы Co^{60} ($E_\gamma = 1,17$ МэВ и $1,33$ МэВ), Cs^{137} ($E_\gamma = 0,66$ МэВ) и естественный ЕРЭ - Ra^{226} , который дает целый спектр γ -квантов с энергиями от $0,35$ до $1,76$ МэВ.
- Длина зондов от 20 до 50 см.

ГГМ. Плотностная модификация. ГГМ-П.

Источник $E > 0,5$ МэВ
(комptonовское рассеивание).
Регистрация с $E > 0,2$ МэВ



Область применения

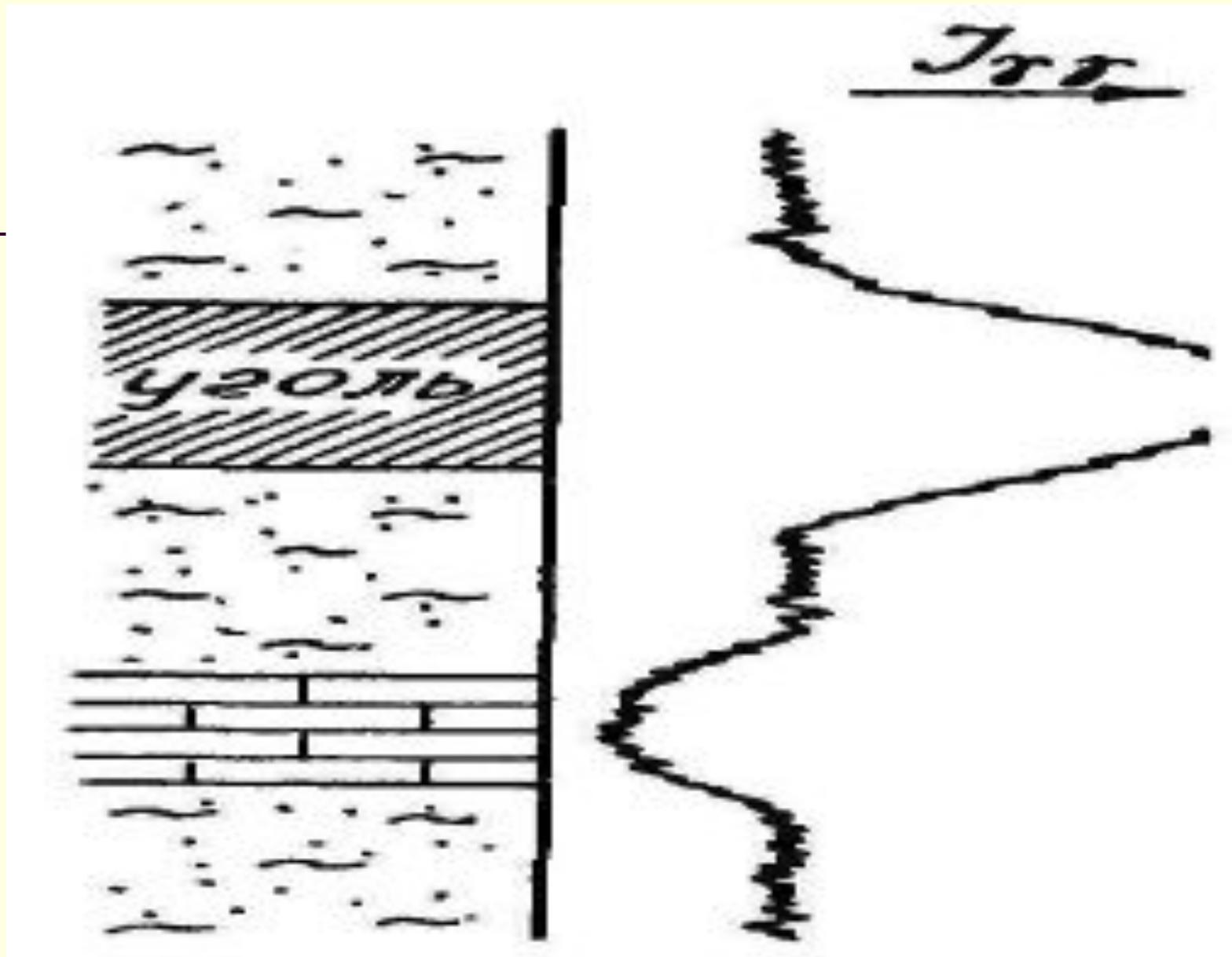
- **ГГК-П** находит применение при исследовании нефтяных и газовых, углеразведочных и рудных скважин.
- На нефтяных и газовых месторождениях **ГГК-П** применяют для дифференциации разрезов скважин по плотности и для определения пористости пород-коллекторов. Как известно, плотность породы σ_n , и коэффициент пористости K_n связаны функциональной зависимостью

$$\sigma_n = (1 - K_n) \cdot \sigma_{ск} + K_n \cdot \sigma_{жс}$$

- где $\sigma_{ск}$ и $\sigma_{жс}$ - соответственно, плотности минерального скелета и жидкости, насыщающей поры породы. Эти параметры определяют при лабораторных исследованиях керна.

Область применения

- На месторождениях ископаемых углей **ГГК-П** применяют для выделения угольных интервалов.
- Поскольку плотность углей ($\sigma_y = 1,15-1,75,$) г/см³ намного меньше, чем плотность песчано-глинистых вмещающих пород ($\sigma_{\text{ВМ}} = 2,5 - 2,7$) г/см, то над угольными интервалами интенсивность рассеянного **γ -излучения** значительно повышается
- Границы угольных пластов определяют по правилу полумаксимума аномалии.
- На рудных месторождениях **ГГК-П** применяют для выделения рудных интервалов в тех случаях, когда их выделение затруднено по данным других методов.



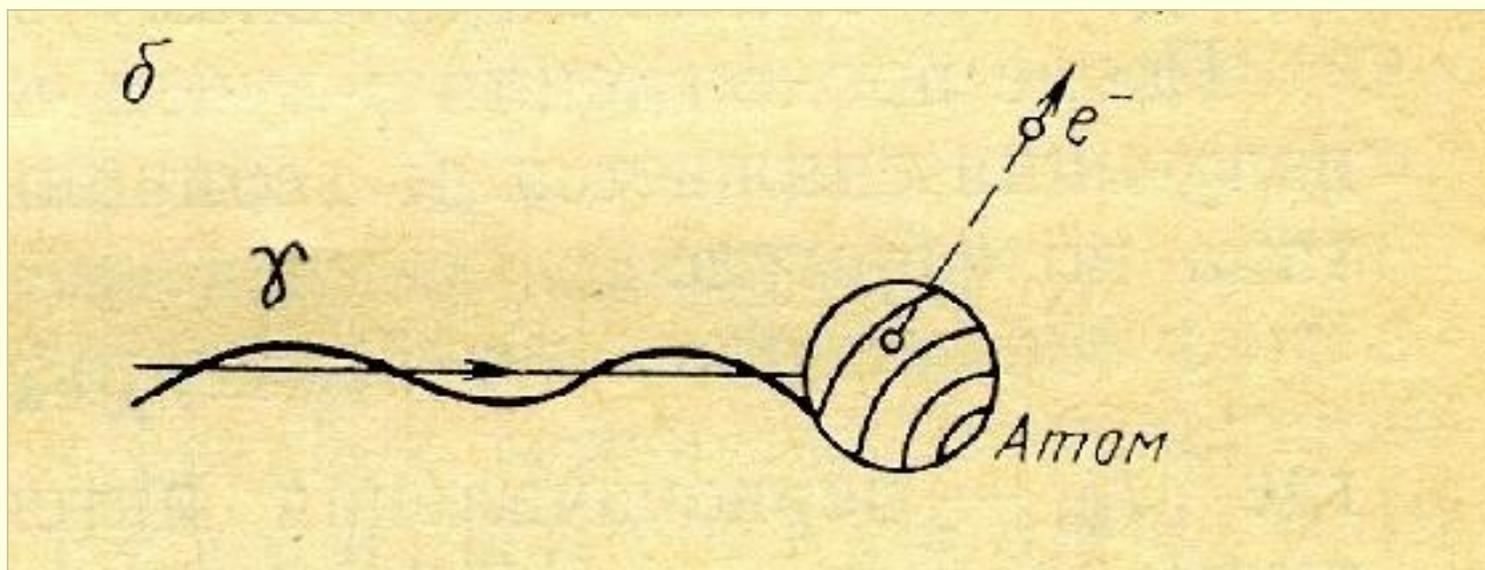
Аномалии на диаграмме плотностного гамма-гамма-каротажа над пластами пониженной (ископаемый уголь) и повышенной (известняк) плотности

Селективный гамма-гамма-каротаж

- Селективный гамма-гамма-каротаж (**ГГК-С**, он же **Z-ГГК**) основан на изучении фотопоглощения γ - квантов в горных породах.
- Этот эффект превалирует при низкой энергии γ - квантов, в **ГГК-С** используют источники с энергией $E_\gamma < 0,5$ МэВ.
- Такими источниками являются искусственные радионуклиды: Sn^{119} ($E_\gamma = 0,39$ МэВ), Se^{75} ($E_\gamma = 0,27$ МэВ), Hg^{203} ($E_\gamma = 0,28$ МэВ). Длина зонда 10-20 см.

ГГМ. Селективная модификация. ГГМ-С.

Источник $E < 0,3$ МэВ
(энергия фотоэффекта).
Регистрация с $E < 0,2$ МэВ



Область применения

- **ГГК-С** применяется, главным образом, на угольных и рудных месторождениях.
- На угольных месторождениях **ГГК-С** используют для определения зольности углей. Чистый уголь имеет $z_{эф} \approx 6$, поскольку состоит из углерода. Негорючий остаток углей (зола) состоит, в основном, из кремнезема и глинозема с примесью окислов железа, $z_{эф}$ золы составляет 12-13 единиц.
- Между зольностью углей A^c и их $z_{эф}$ существует функциональная зависимость.
- Поскольку метод **ГГК-С** чувствителен к малейшим изменениям $z_{эф}$ среды, то по его результатам легко оценить зольность ископаемых углей. Этот метод был разработан проф. Уткиным В.И. Им же предложена удобная палетка для оценки A^c непосредственно по диаграмме **ГГК**.

Область применения

- На рудных месторождениях метод **ГГК-С** применяют для выделения рудных интервалов в разрезах скважин. При измерении спектра рассеянного **у-излучения** можно определить, каким элементом вызвано поглощение, т.е. возможно изучение вещественного состава руд.

Область применения

- Жидкость с высоким атомным номером, проникая в поры пласта, повышает $Z_{эф}$ коллектора в целом, причем тем сильнее, чем выше пористость.
- Этот эффект отчетливо фиксируется по разности показаний каротажа ГГК-С, проведенного до и после заполнения скважины раствором с аномально высоким $Z_{эф}$.
- Расчеты показывают, что этот метод обладает очень высокой чувствительностью и позволяет определять пористость пород, начиная с $K_{п}=2\%$. Способ признан изобретением и защищен патентом Российской Федерации.

Влияние скважинных условий

- ГГК в обеих модификациях имеет малый радиус исследования (10 — 15 см), поэтому на его показания большое искажающее влияние оказывают скважинные условия: изменение диаметра скважины, толщина глинистой корки, плотность промывочной жидкости и т. д. Для уменьшения этого влияния применяют специальные двухзондовые приборы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность гамма-каротажа?
2. Назовите основные естественные радиоактивные элементы.
3. Какие магматические породы и почему обладают повышенной радиоактивностью? Какие осадочные?
4. Какие Вам известны детекторы гамма-квантов?
5. Какие основные узлы входят в состав каротажных радиометров?
6. Почему ограничена скорость ГК?
7. Какой способ используют для определения границ пластов большой мощности по диаграммам ГК?
8. Как определяют по ГК содержание радиоактивных элементов?
9. Какие мешающие факторы учитывают при количественной интерпретации диаграмм ГК?
10. Назовите 3 основные вида взаимодействия гамма-излучения с веществом.
11. Как устроен скважинный прибор ГГК?
12. Чем отличается плотностной ГГК от селективного?
13. Какие задачи решаются с помощью ГГК-П на нефтяных и рудных месторождениях?
14. Какие задачи решаются с помощью ГГК-С?
15. Получите выражение для расчета K_n по результатам ГГК-П из формулы (12.11).

