

Дисциплина
«Геофизические исследования
скважин».

РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ

(лекция 4)

Лобова Г.А.

- **Радиоактивные методы** основаны на измерении естественных и искусственно вызванных радиоактивных излучений в скважинах.

Радиоактивные методы

ГК (ГМ) – гамма каротаж

J_γ – интенсивность естественного гамма-излучения в пласте, мкР/ч, амп/с

ГГК – гамма-гамма каротаж:

ГГК-П - гамма-гамма каротаж плотностной

Источники γ -квантов энергии [0.5- 2МэВ]

ГГК-С - гамма-гамма каротаж селективный

Источники γ -квантов энергии [<0.3 - 0,4МэВ]

I_γ γ -интенсивность рассеянного γ -излучения, имп/с

σ_e - электронная плотность среды, кг/м³

$\sigma_{ЭКВ}$.- эквивалентная плотность среды, кг/м³

ННК –нейтрон-нейтронный каротаж:

Регистрируется γ -излучения радиационного захвата нейтронов (для выделения ВНК)

ННК-Т- нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам

ННК-НТ - нейтрон-нейтронный каротаж по надтепловым нейтронам

L₃-длина замедления нейтронов

W –водородный индекс (эквивалент) пласта (для определения коэффициента пористости и газонасыщенных пластов)

Физические основы гамма-метода

- **Гамма-каротаж** (ГК или ГМ) заключается в измерении гамма-излучение естественных радиоактивных элементов в горных породах, пересеченных скважиной.
- Интенсивность и энергетический спектр регистрируемых излучений зависит от состава, концентрации и пространственного распределения радиоактивных элементов.
- Наиболее распространены в природе U (и образующийся из него Ra), Th и K.

Явление радиоактивности

Ядра элементов состоят:

1. Протоны ${}^1_+p$

2. Нейтроны 1_0n

${}^1_+p + {}^1_0n = \text{атомный вес элемента}$

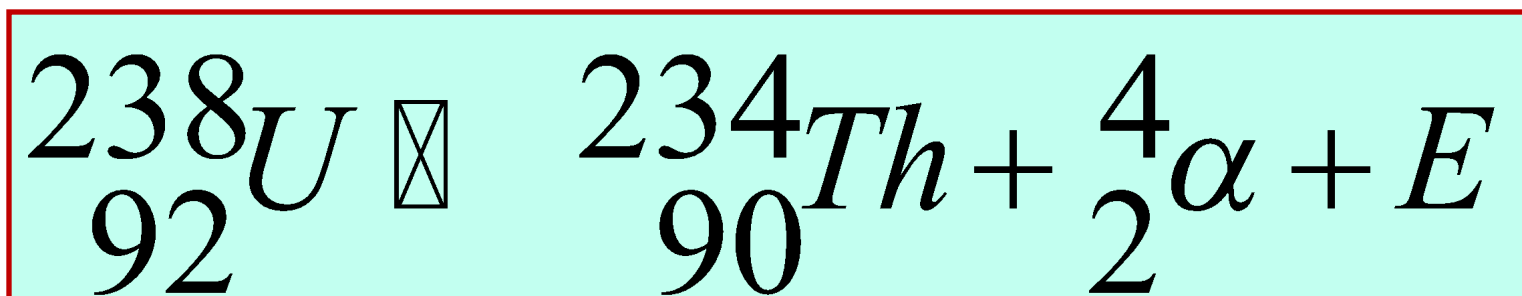
Если $p=n$, то ядро устойчиво.

Если $p_1 = p_2$, а $n_1 \neq n_2$ - это атомы изотопы.

При $n > p$ (в 1,2 и более)-радиоактивные элементы

Виды излучений, сопровождающих естественные радиоактивные превращения:

α – излучение



Масса (p+n)

${}_{92}^{238}U$

заряд (p)

92

$$n = 238 - 92 = 146$$

E - электромагнитное излучение

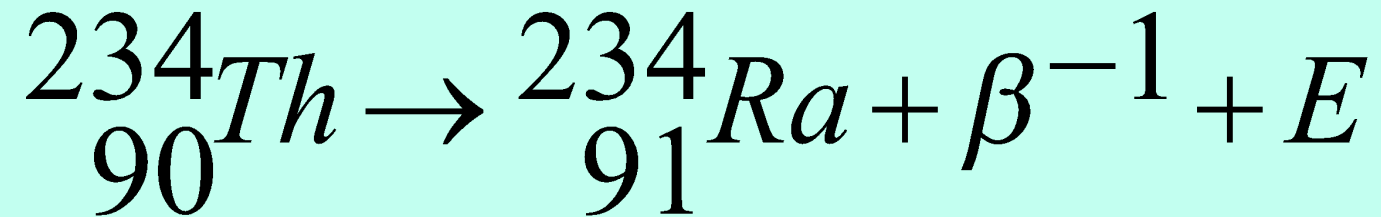
${}_2^4\alpha$

-частица, это ядро атомов

${}_2^4He$

α -лучи поглощаются листом бумаги

β – излучение

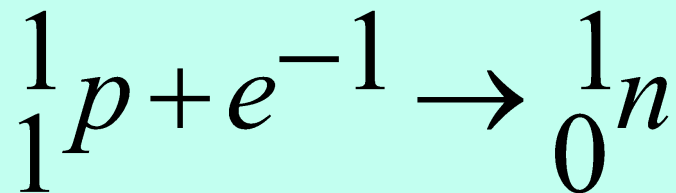
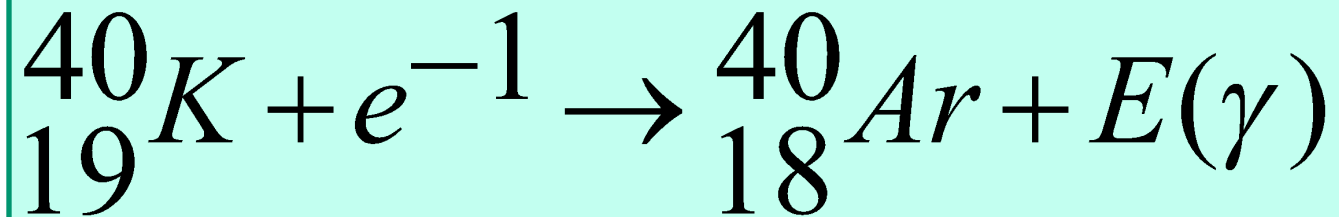


В ядре тория нейтрон преобразуется в протон

β^{-1} -частица, это e^{-1}

β -лучи полностью поглощаются слоем породы в несколько мм

γ – излучение
(электронный захват)



${}_{19}^{40}\text{K}$ -радиоактивный изотоп ($p_{19} < n_{21}$)

E – интенсивное γ -излучение

γ -лучи распространяются в осадочных породах до 40-80 см

Радиоактивность осадочных горных пород



Концентрации варьируют (%):

- калий от 0 до 4
- торий от 0,0001 до 0,0012
- уран от 0 до 0,0005

В глинистых покрывках повышена радиоактивность:

- каолинит ($>Th$)
- монтмориллонит ($>U$)
- гидрослюда ($>K$)

Содержание радиоактивных элементов в сеноманских отложениях Амударьинского нефтегазоносного бассейна (по материалам Р.А. Алексеева, 1973)¹⁰

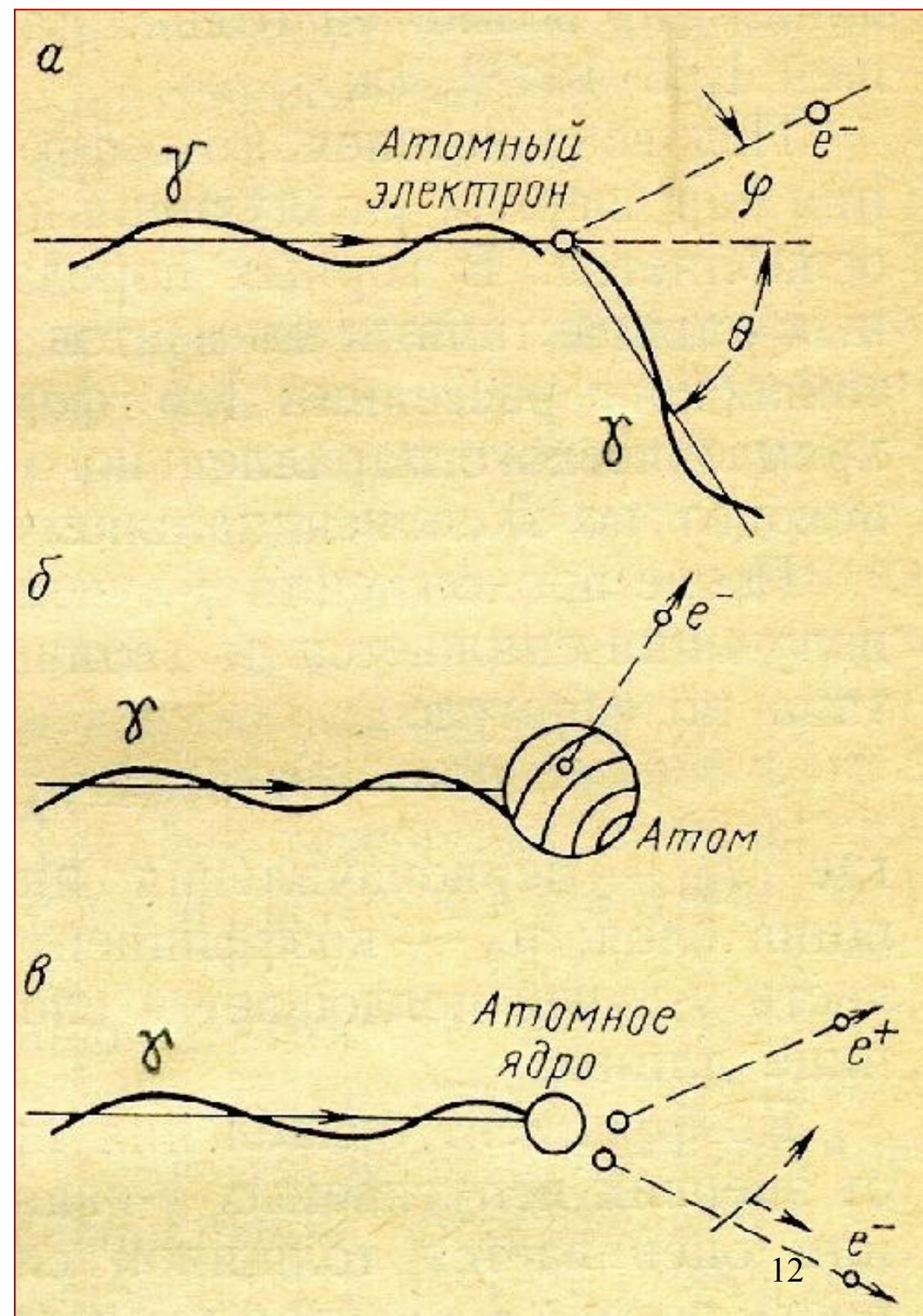
- У магматических пород *максимальной* активностью отличаются кислые породы (из-за повышенного содержания К, в котором содержится около 0,012% радиоактивного изотопа K^{40}), *минимальной* – ультраосновные породы.

Виды взаимодействия гамма-излучения с веществом горных пород

**а) КОМПТОНОВСКОЕ
рассеивание**
($E_\gamma > 0,5 \text{ МэВ}$)

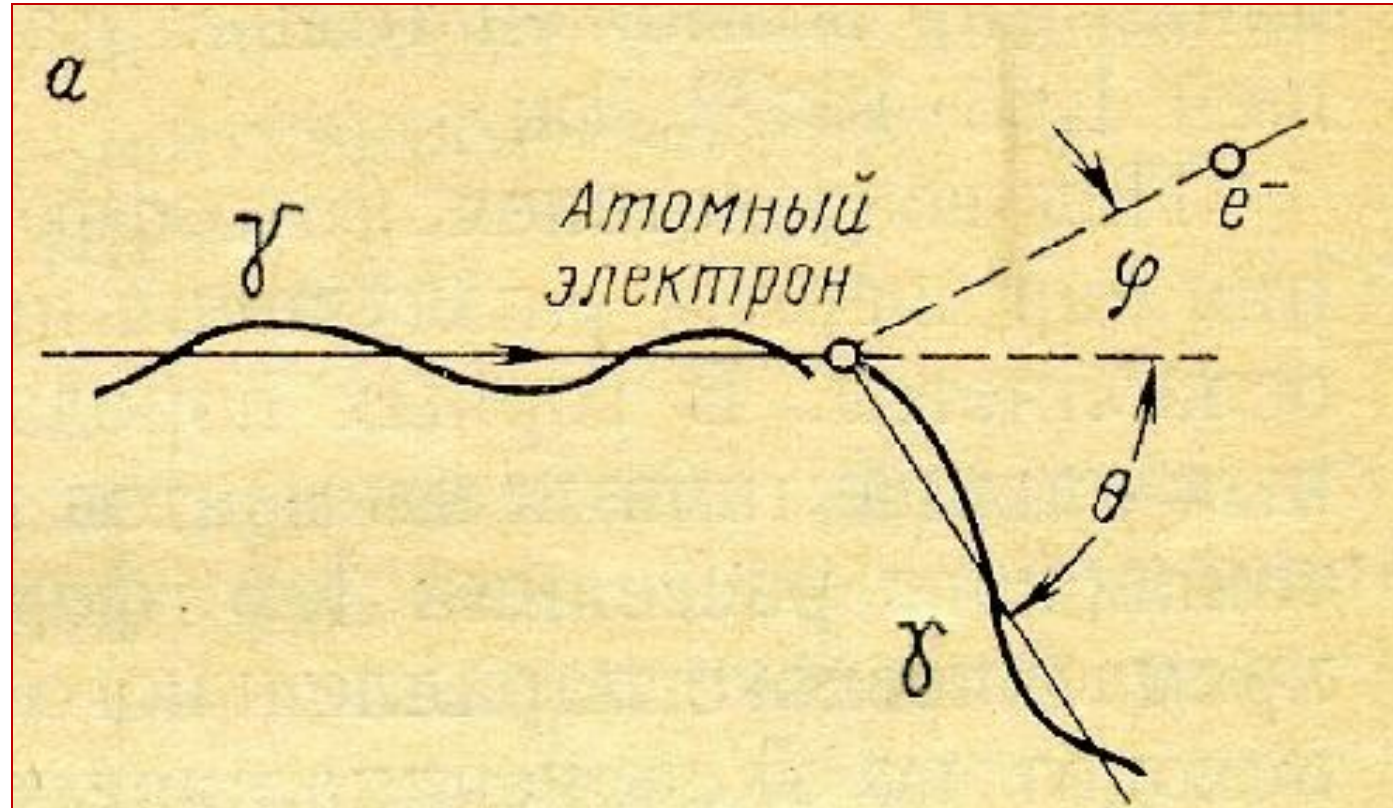
б) фотоэффект
($E_\gamma < 0,5 \text{ МэВ}$)

в) эффект образования пар
($E_\gamma > 4 \text{ МэВ}$)



Комптовское рассеивание

- 1) Энергия γ -квантов $> 0,5$ Мэв
- 2) Взаимодействие с электроном атома
- 3) Часть энергии передается электрону
- 4) γ -квант теряет часть энергии и отклоняется



$$\mu_k = \beta * \sigma_e$$

где μ_k - коэффициент ослабления; β - const.
 σ_e - электронная плотность вещества (пропорциональна σ_p),
т.е. μ пропорциональна σ_p

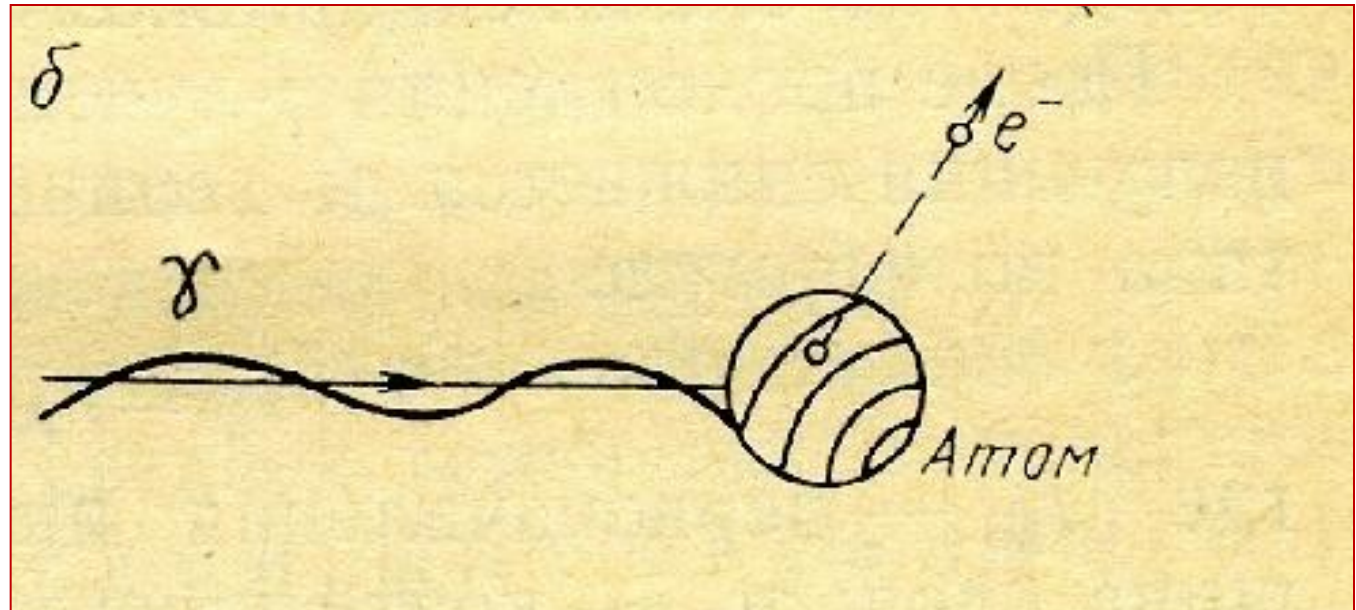
Изучение

μ_k

-основа ГГК-II (плотностного)

Фотоэффект

- 1) Энергия γ -квантов $< 0,5$ МэВ
- 2) Взаимодействие с атомом в целом
- 3) Вся энергия γ -кванта поглощается
- 4) e^- уносит часть энергии (вспышка)



Фотоэффект проявляется при взаимодействии с тяжелыми элементами (U, Th, K)
По соотношению U, Th, K можно делать заключение о литологии пород в разрезе

Изучение фотоэффекта- основа ГГК-С (селективного)

Эффект образования пар

- 1) Энергия γ -квантов > 4 МэВ (жесткое излучение)
- 2) Взаимодействие с ядром
- 3) Вся энергия γ -кванта поглощается
- 4) Образуется пара: электрон (e^-) и позитрон (e^+)
- 5) Через короткий промежуток времени электрон и позитрон аннигилируют (взаимодействуют) и излучаются два γ -кванта



$$1 \text{ МэВ} = 1,6 * 10^{-13} \text{ Дж}$$

$2 * 10^{-14} - 2 * 10^{-12}$ (дж) - быстрые

$0,3 - 5 * 10^{-18}$ (дж) - надтепловые

$25 * 10^{-21}$ (дж) - тепловые

100 МэВ

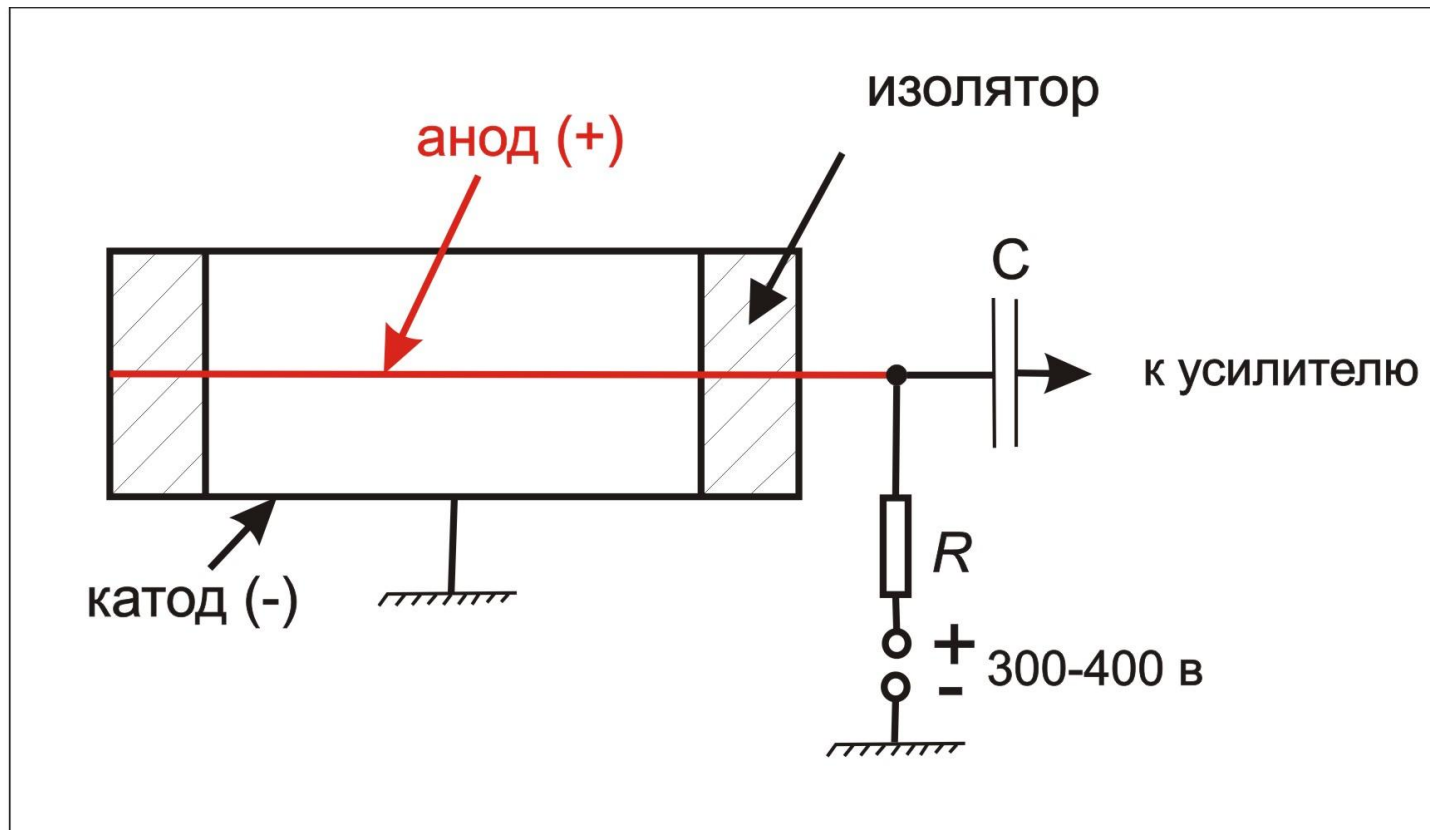
0,1 эВ

Гамма-метод (ГК)

Аппаратура измерения гамма-излучения:

1. Газоразрядный счетчик (Гейгера-Мюллера),

(непропорциональные E_{γ} , регистрируют 1 -2 % γ -квантов)



$$\tau = C * R$$

τ – постоянная времени интегрирующей ячейки, (с)

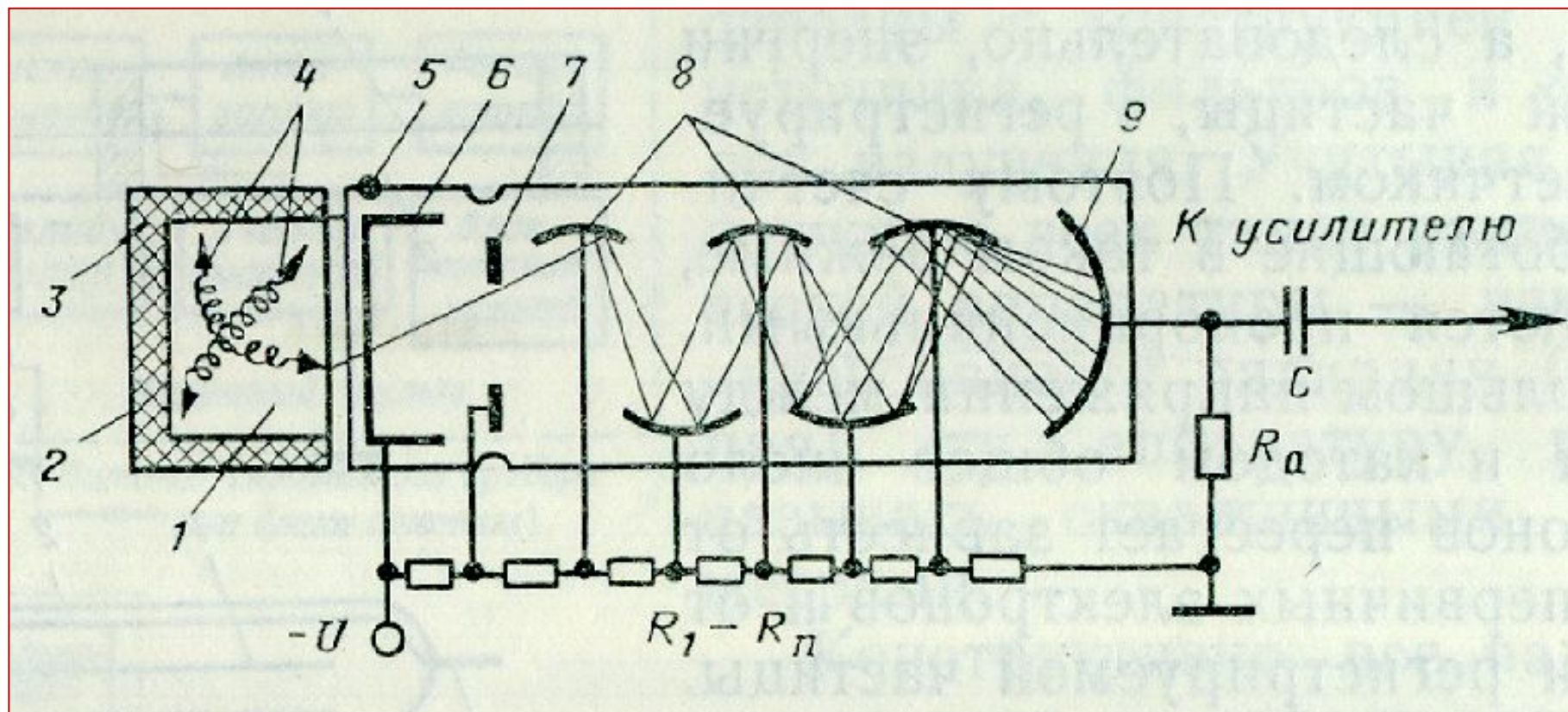
R- сопротивление

C -конденсатор

Аппаратура измерения гамма-излучения:

2. Сцинтилляционный счетчик

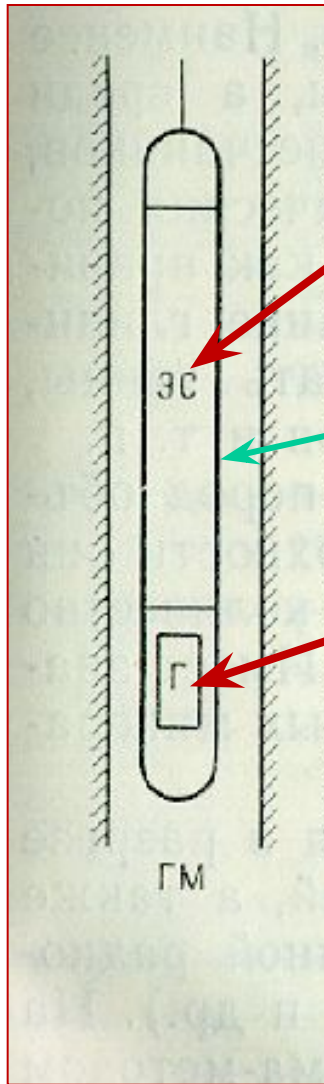
(пропорциональные $E\gamma$, регистрируют до 30% γ -квантов)



Постоянная времени интегрирующей ячейки:

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

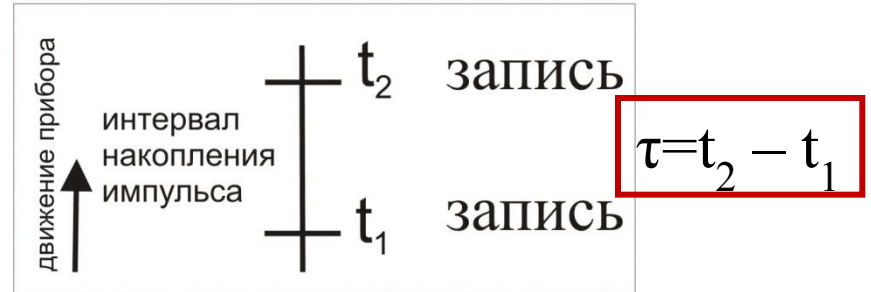
Скважинные приборы радиоактивных методов



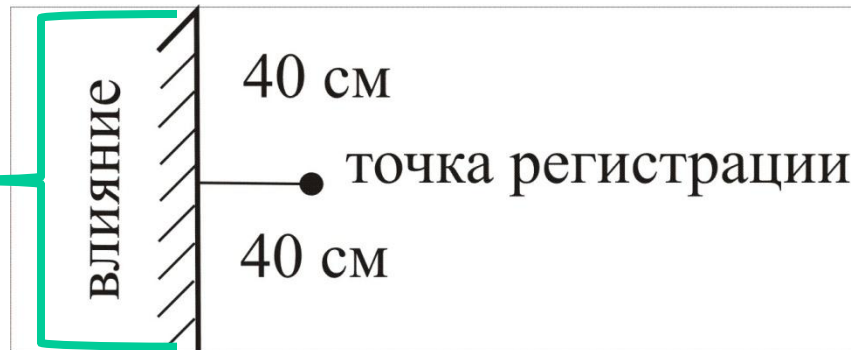
электронная схема
интегрирующей ячейки

ЗОНД

детектор гамма-излучения



радиус зоны
исследования



Кривые гамма-метода

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

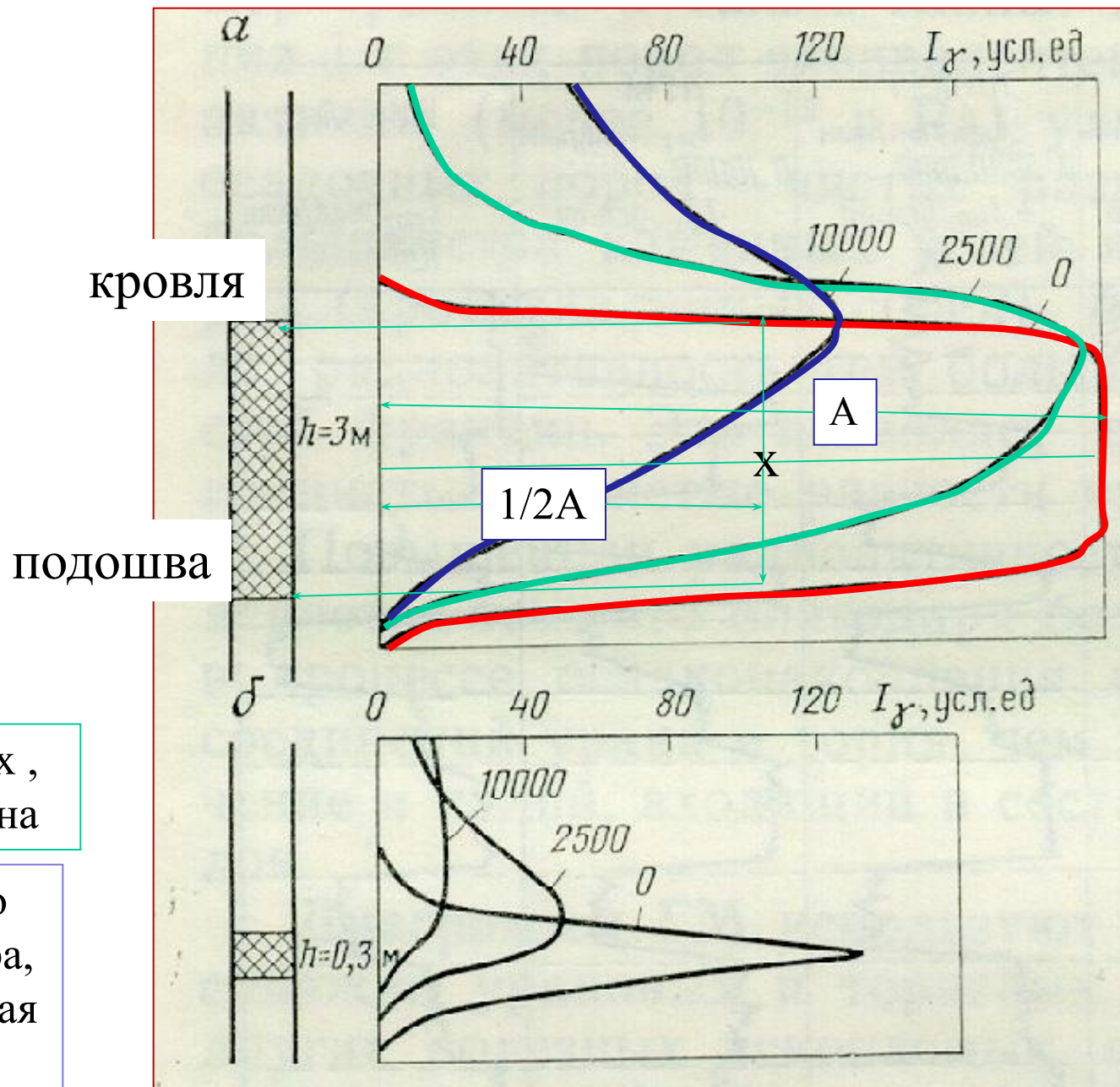
Шифр кривых $-v \cdot \tau$, м/ч · с

— 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 $h / v \cdot \tau$



Выбор параметров регистрации

При измерениях рекомендуется:

1) время стояния прибора против пласта –

$$\tau = 3-6 \text{ сек}$$

2) скорость подъема прибора-

$V = 500-600$ м/ч – при исследованиях вдоль
всего ствола;

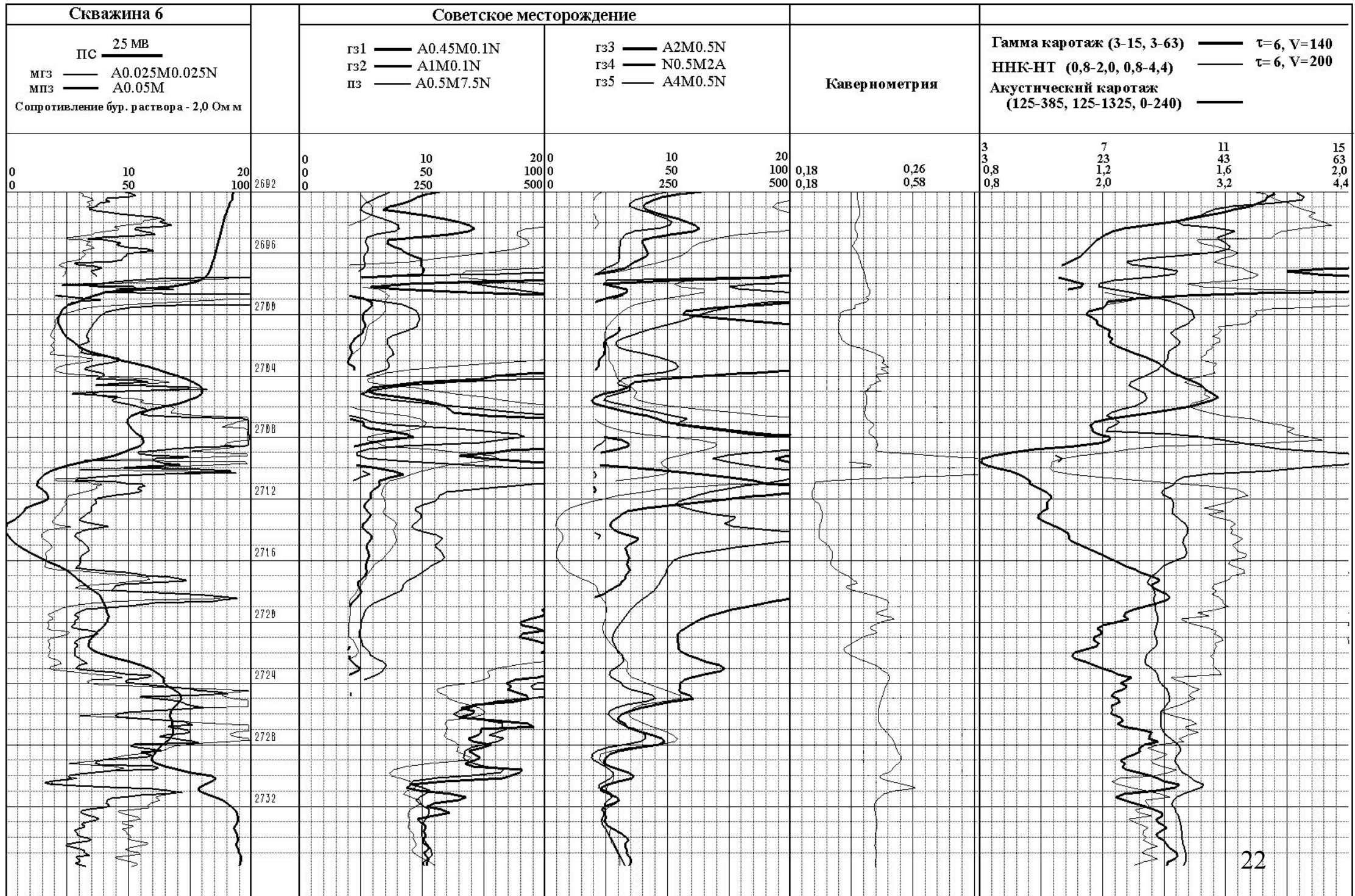
$V = 100-200$ м/ч- при детальном исследовании
(в перспективных участках)

Диаграммы радиоактивных методов (ГК)

Песчаник

- каменная соль
- калийная соль
- глины
- гипс
- ангидрид
- известняк низкопористый
- известняк высокопористый
- размытый пласт с глубокой каверной
- газоносный
- нефтеносный
- водоносный
- метаморфизованная порода





Обработка и интерпретация диаграмм ГМ

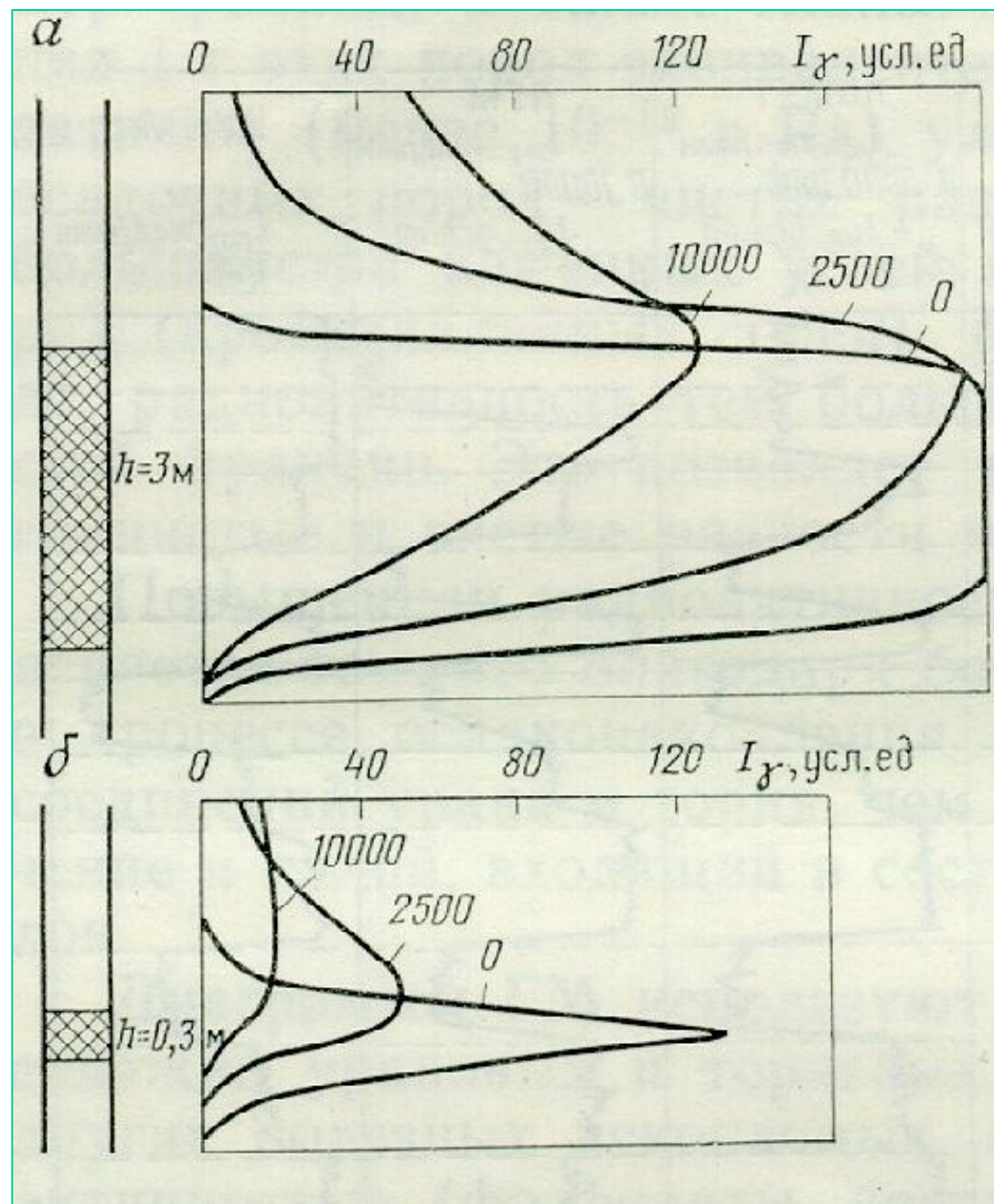
1. Расчленение разреза на пласты
2. Снятие значений гамма-активности
3. Приведение к условиям пласта бесконечной мощности
4. Выбор опорных пластов
5. Расчет двойного разностного параметра
6. Определение $K_{\text{гл.}}$
7. Определение литологии пласта

1.Расчленение разреза на пласты

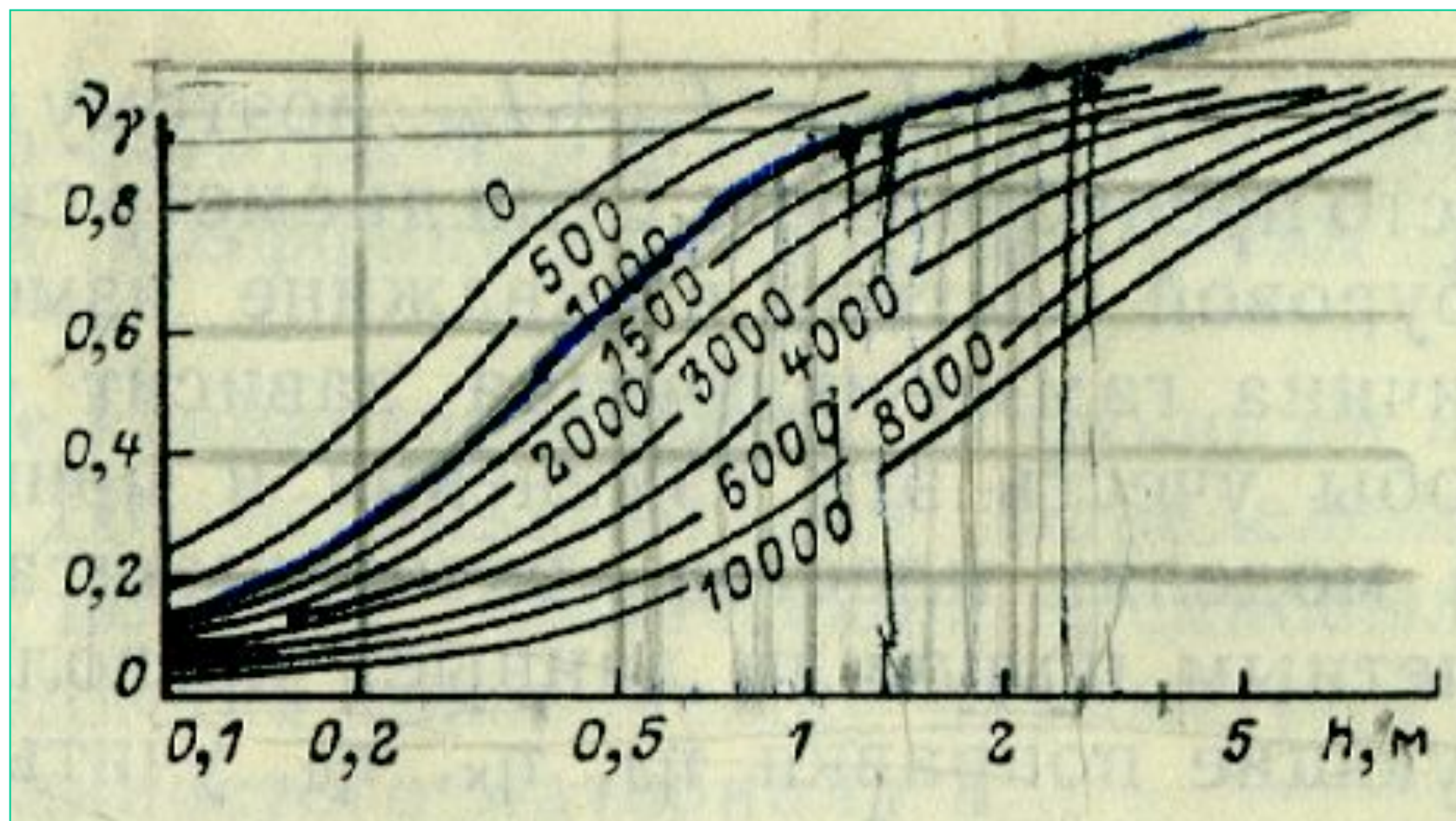
2.Снятие значений гамма-активности

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

Шифр кривых – $\nu\tau$, м/ч·с



3. Приведение к условиям пласта бесконечной мощности (Поправка за инерционность регистрации и мощность пласта)



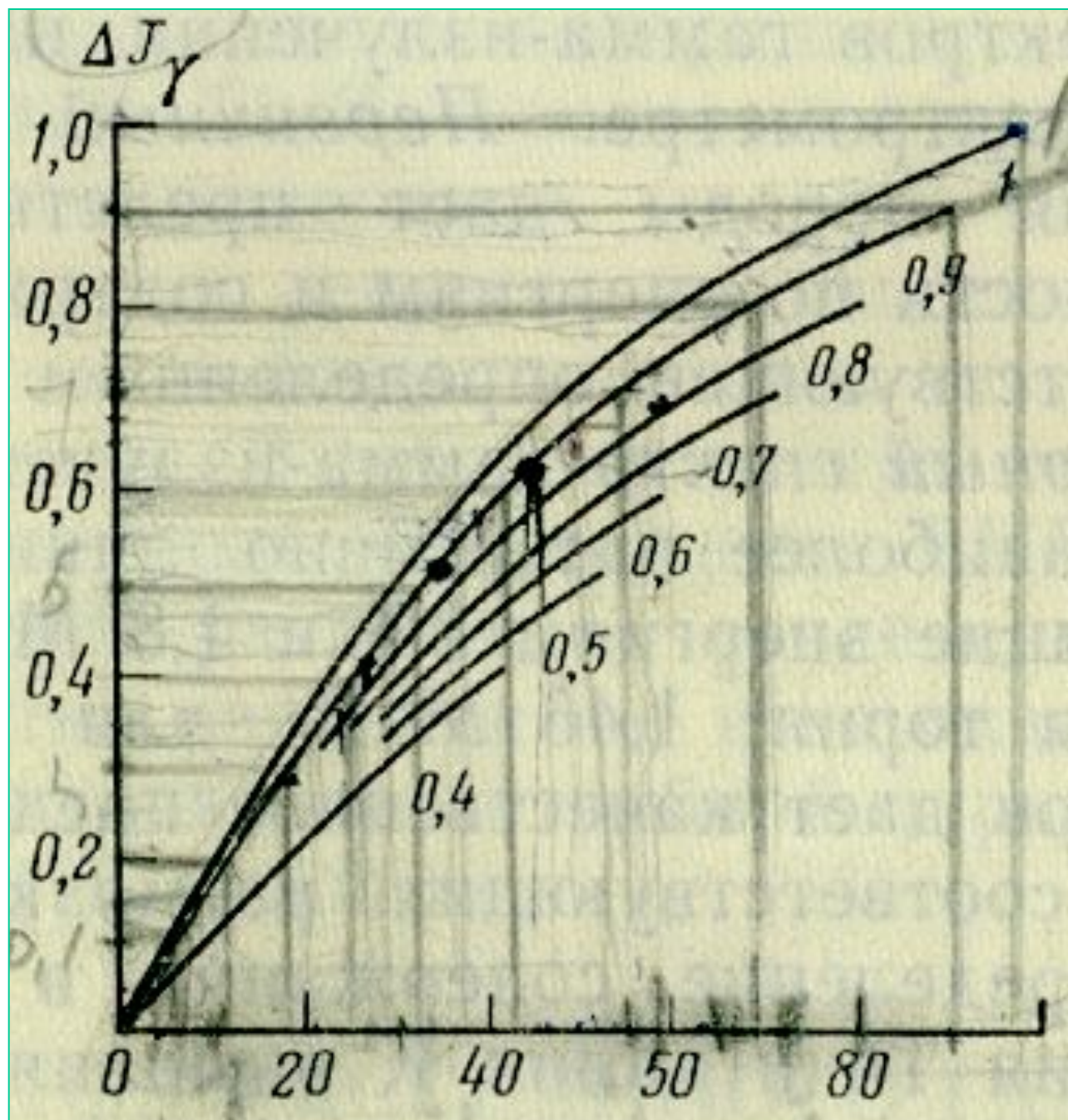
Зависимости $v_{\gamma} = f(h)$ для различных $v \times \tau = const$ (шифр кривых)

4.Выбор опорных пластов

5.Расчет двойного разностного параметра

6. Определение

$K_{\text{гл.}}$



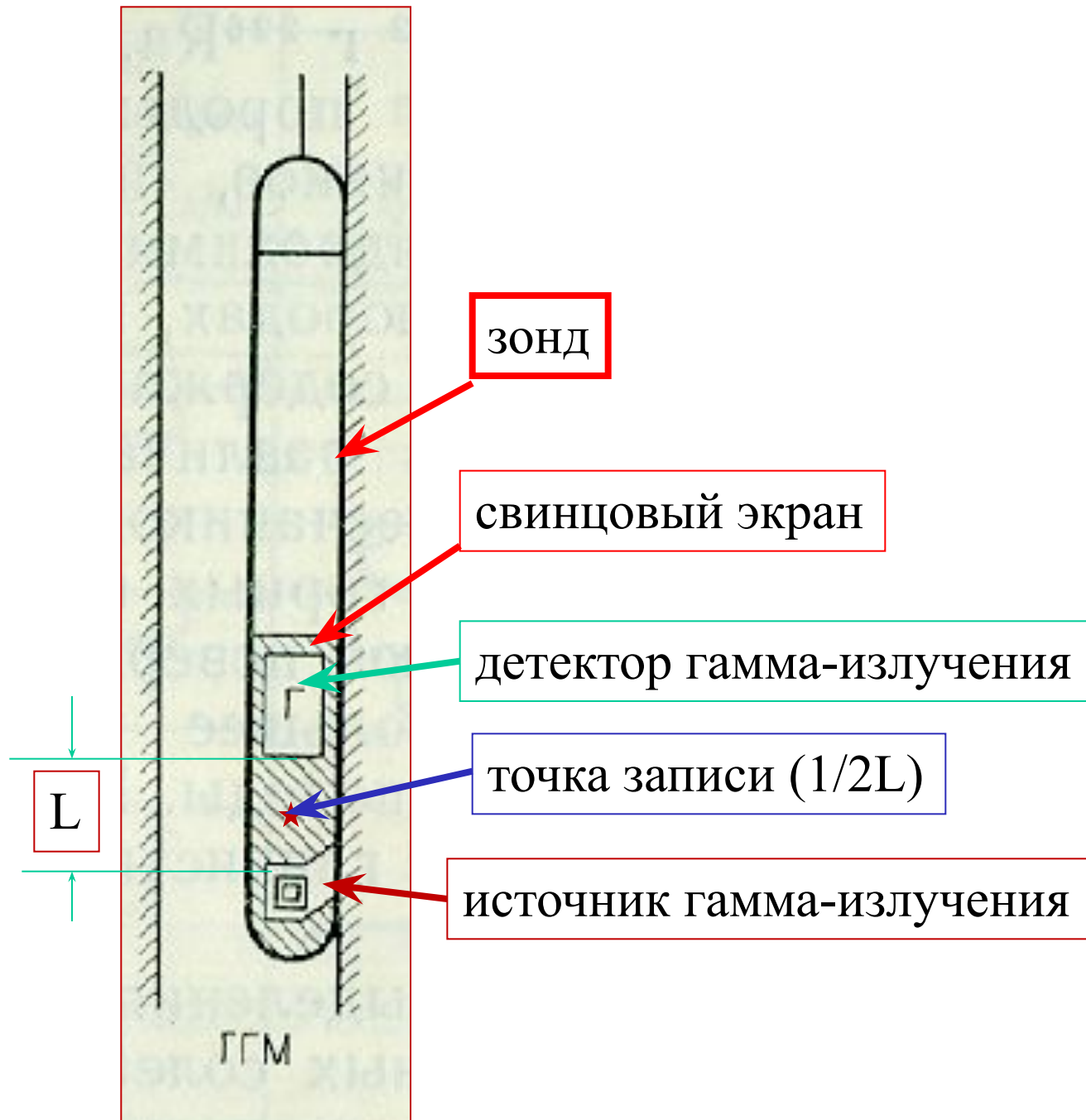
7. Определение литологии пласта

№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

Методы вторичного гамма-излучения

ГАММА-ГАММА МЕТОД

Скважинный прибор ГГ метода

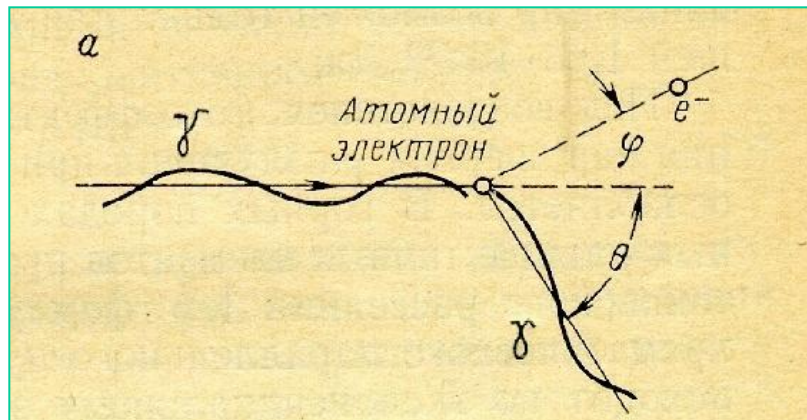


L - длина зонда

ГГМ. Плотностная модификация. ГГМ-П.

(комптоновское
рассеивание).

Регистрация
с $E > 0,2$ МэВ



Применяются источники γ -квантов большой энергии ($E > 0,5$ МэВ).

Чаще всего используются кобальт (\tilde{Ni}_{27}^{60}).

Интенсивность гамма-излучения комптоновского рассеивания зависит от электронной плотности атомов вещества горной породы (σ_e – электронная плотность).

$$\sigma_e \sim \sigma_{\Pi}, \text{ где } \sigma_{\Pi} \text{ – объемная плотность г.п.}$$

Радиус исследования – 20 см,

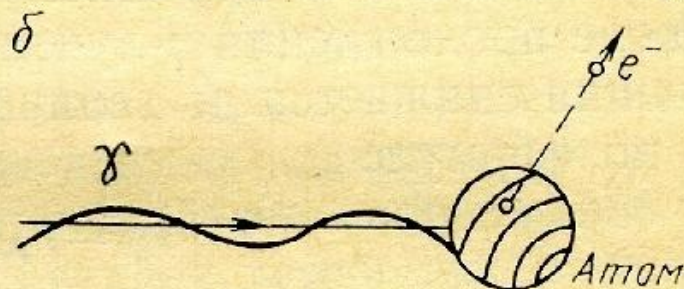
точность определения σ_{Π} – 0,01-0,05 г/см³

Форма диаграмм аналогична диаграммам ГМ.

Задачи, решаемые ГГМ-П:

1. Расчленение разреза по параметру плотности
2. Определение $\sigma_{\Pi} = (1 - k_{\Pi}) \times \sigma_{\text{м}} + k_{\Pi} \times \sigma_{\text{ж}}$
где $\sigma_{\text{ж}}$ – плотность жидкой фазы в порах
 $\sigma_{\text{м}}$ – плотность минерального скелета (из литологии $\approx \text{const} = 2,67 - 2,70$ г/см³)
3. Оценка технического состояния скважины, т.к. радиус исследования небольшой (20см), то в обсаженной скважине будет зависеть от состояния цементного кольца. (каверна снижает плотность и увеличивает значение $I_{\text{ж}}$)

**ГГМ. Селективная
модификация.
ГГМ-С.
(энергия
фотоэффекта).
Регистрация с $E < 0,2$ МэВ**



Применяются источники мягкого излучения ($E < 0,3$ МэВ), например Se_{34}^{75} .
Интенсивность замеренного γ -излучения будет зависеть от присутствия в породе тяжелых элементов (свинец, ртуть), которые поглощают энергию γ -квантов.
Радиус исследования на больше 20 см.

Задачи, решаемые ГГМ-С:

1. ГГМ-С вместе с ГГМ-П применяется для разделения в разрезе песчаников, известняков, доломитов.
2. ГГМ-С применяют для выделения пород, обогащенных тяжелыми элементами (ртуть, свинец, вольфрам и др.).

НЕЙТРОННЫЕ МЕТОДЫ

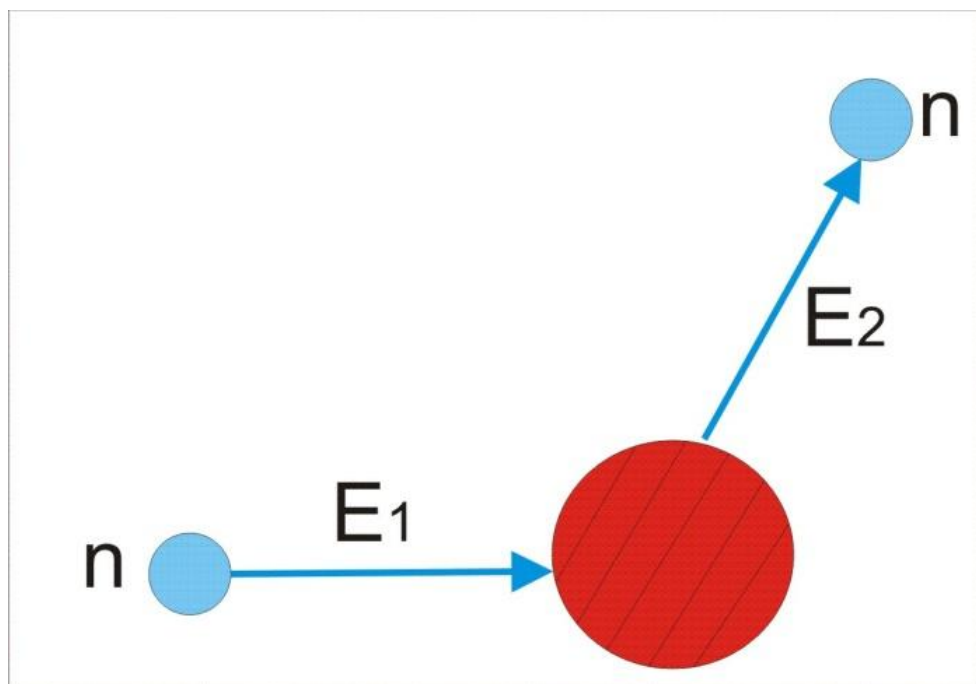
•

Типы источников



3. Изотопы трансурановых элементов
(например ${}^{252}\text{Cf}$)

Взаимодействие нейтронов с веществом горных пород



$$1) \quad E_2 \approx E_1$$

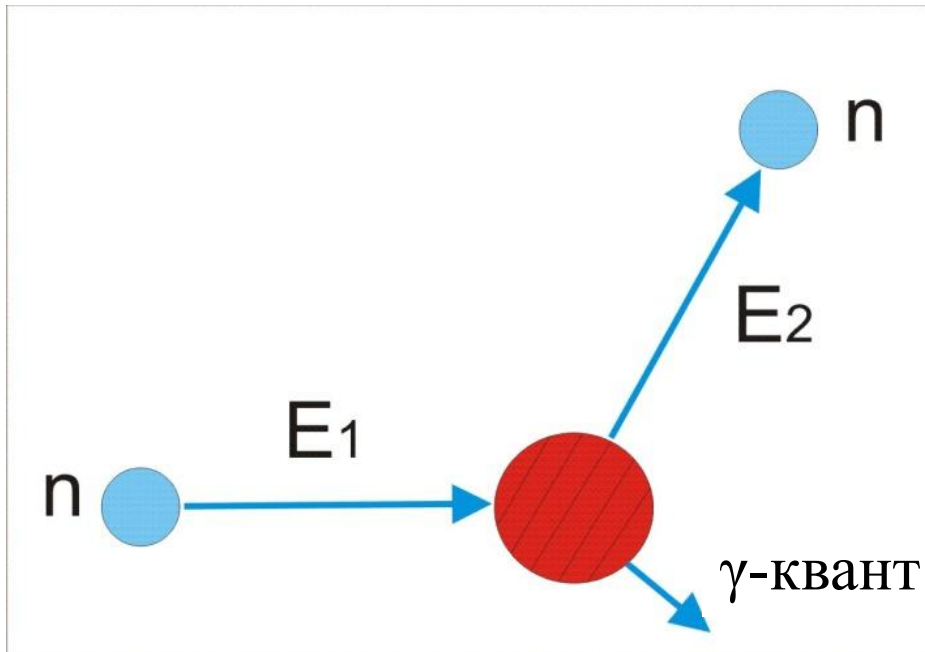
1. Упругое рассеивание

Потеря энергии зависит от массы ядра.

1. $1\text{эВ} < E < 100\text{МэВ}$
(надтепловые)
2. Взаимодействуют с тяжелыми ядрами
3. Потеря энергии зависит от водородосодержания

Является основой метода НК-НТ

Взаимодействие нейтронов с веществом горных пород



2) $E_2 < E_1$
ядра меньших размеров

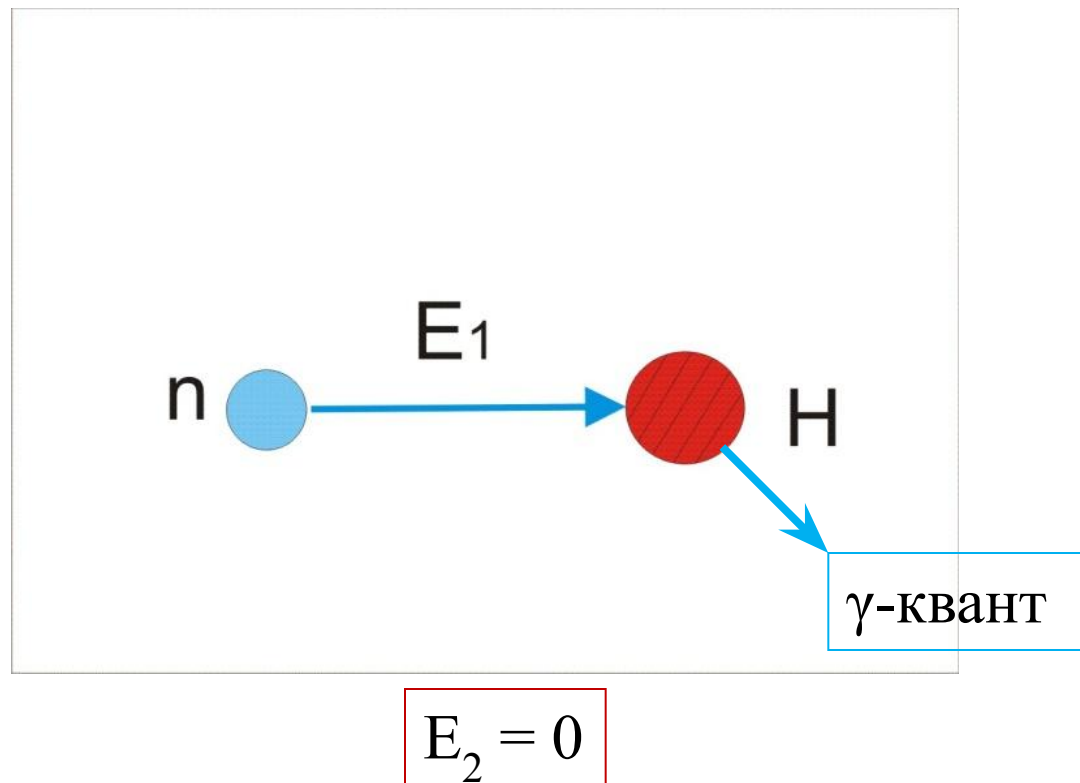
Является основой метода НГК спектрометрического.
Изучается гамма-излучение неупругого рассеивания (ГИНР).

2. Неупругое рассеивание

Особенности взаимодействия:

- 1) $E > 100 \text{ МэВ}$ – (быстрые нейтроны)
- 2) Взаимодействуют с тяжелыми ядрами
- 3) Часть энергии идет на возбуждение ядра
- 4) Ядро приходит в стабильное состояние и испускает γ -кванты
(спектр индивидуален для каждого ядра)
- 5) Потеря энергии, в среднем, больше, чем при упругом рассеивании

Взаимодействие нейтронов с веществом горных пород



Является основой методов: НГК, ННК-Т, ГИРЗ
(гамма-излучение радиационного захвата).

3. Радиационный захват Особенности взаимодействия:

- 1) Взаимодействие происходит при малой энергии нейтрона (тепловые нейтроны с $E < 1\text{эВ}$)
- 2) Нейтрон захватывается ядром и возникает вторичное гамма-излучение
- 3) Аномальный поглотитель тепловых нейтронов NaCl

Энергетическая характеристика нейтронов

1. **Тепловые**, $E_n < 1 \text{ эВ}$
2. **Промежуточные**, $1 \text{ эВ} < E_n < 0,1 \text{ МэВ}$
3. **Быстрые**, $E_n > 0,1 \text{ МэВ}$

Нейтроны, энергетический диапазон которых пересекается с тепловым и промежуточным, называют надтепловым ($E_n = 0,3 \cdot 10^2 \text{ эВ}$)

РЕГИСТРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ

1. Газоразрядные счетчики (порождаются ${}_{+2}^{4}\alpha$ или быстрые ${}_{+1}^1\text{p}$, пропорциональные)
2. Сцинтилляционные счетчики (пропорциональные, сцинтиллятор – смесь сернистого цинка и соединения бора)

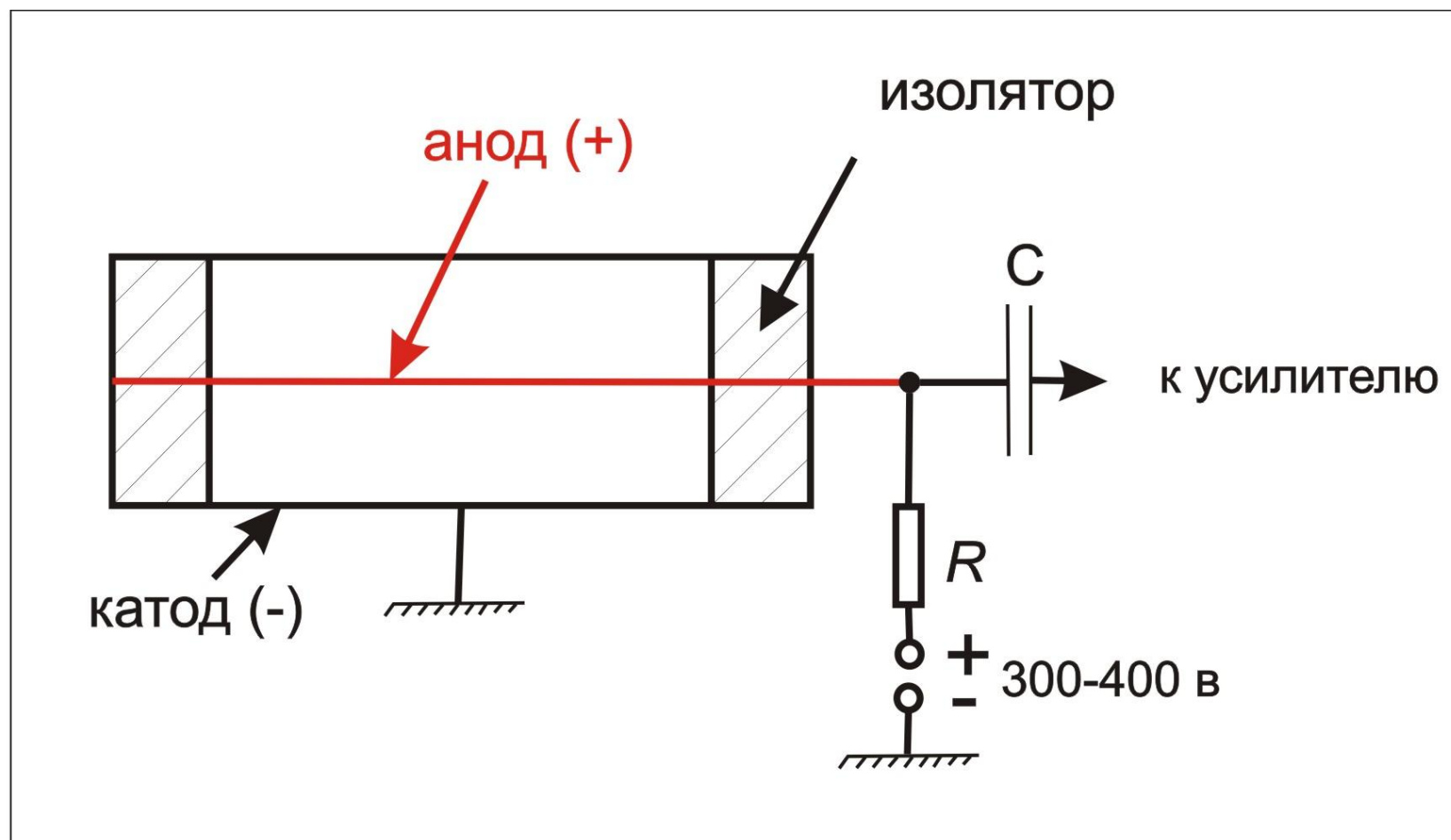
Конструкция счетчиков аналогична γ – методу.

Постоянная времени интегрирующей ячейки:

$\tau = C \times R$ - время накопления разрядов (сигнала)

– дискретность записи диаграммы

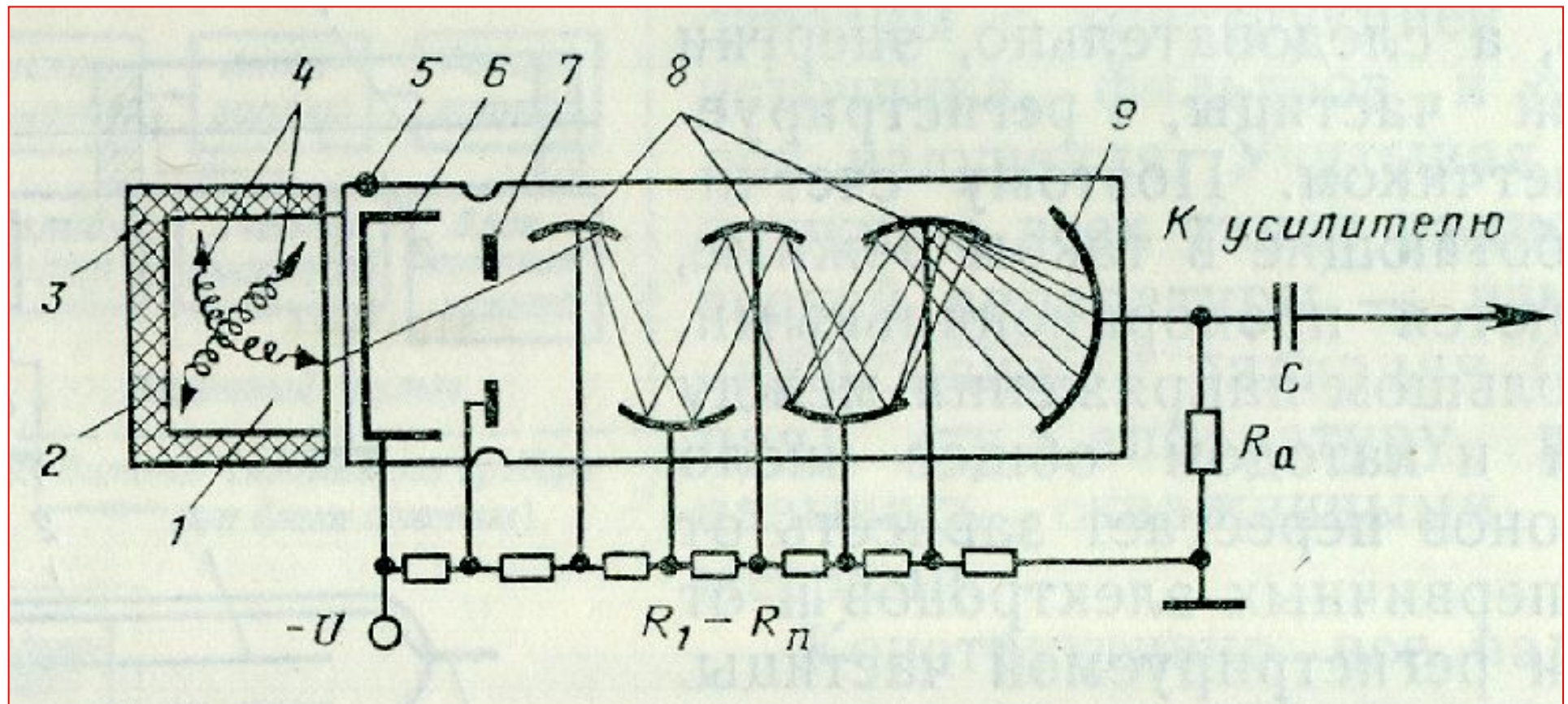
Блок-схема газоразрядного счетчика Гейгера-Мюллера



Скважинные приборы радиоактивных методов

Методов

Блок – схема сцинтиляционного счетчика



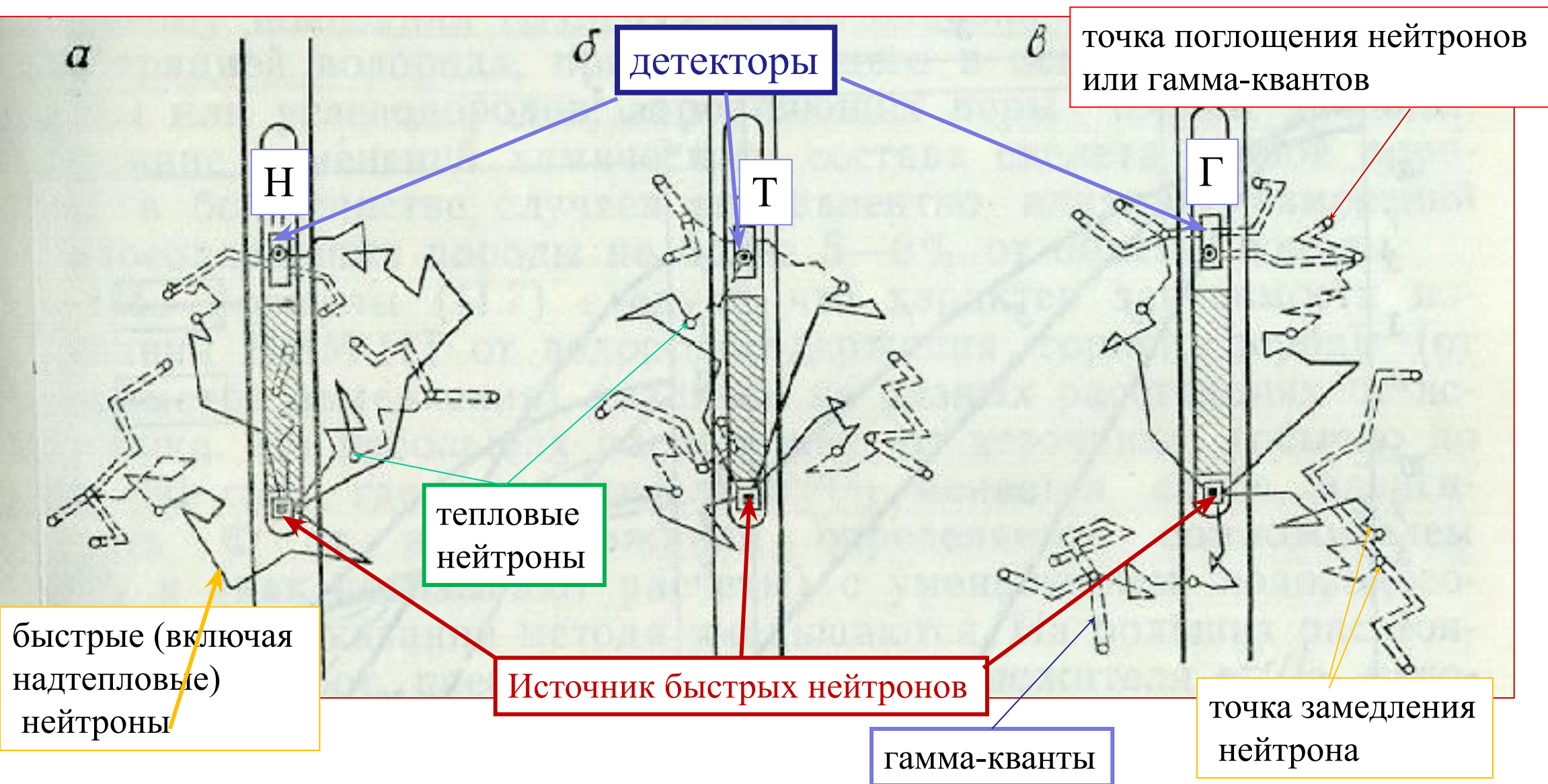
Сцинтилятор – смесь сернистого цинка с одним из соединений бора

ЗОНДЫ НЕЙТРОННОГО МЕТОДА

Блок-схемы зондов ННМ-Т и ННМ-НТ



СХЕМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕЙТРОНОВ



НЕЙТРОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕД

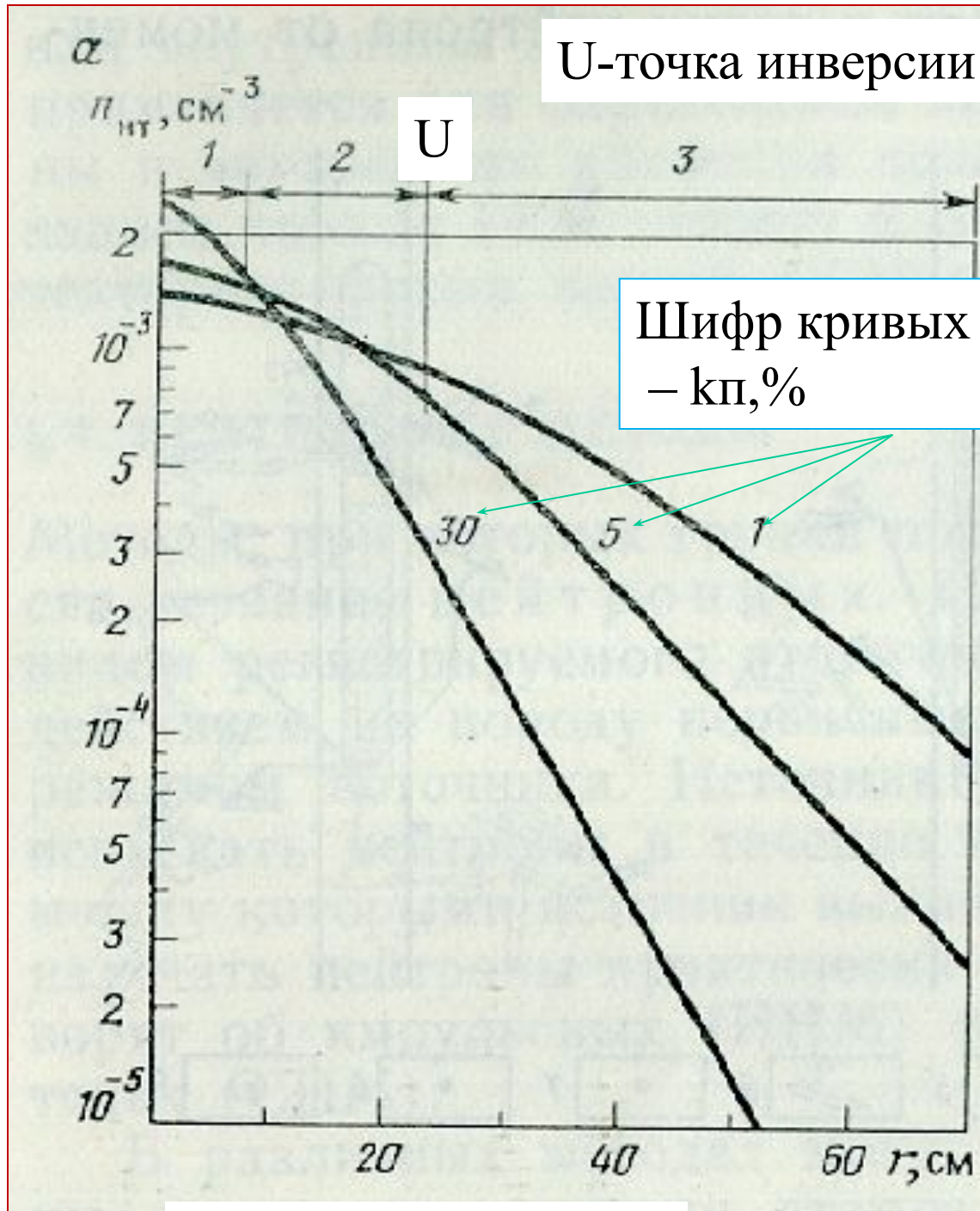
1. Длина замедления быстрых нейтронов , см
- L_s
2. Длина диффузии, см - L_d
3. Время жизни тепловых нейтронов, мксек
- τ

Нейтронные характеристики сред

СРЕДА	L_s	L_d	τ
Вода	7,7	1,4	207
Нефть	10	2,1	190-215
Гипс	10	3,7	268
Глина	10	7,6	414
Кварц	27	17,6	1138
NaCl	21	1,0	6,1

Нейтрон-нейтронный метод по надтепловым нейтронам ННМ-НТ

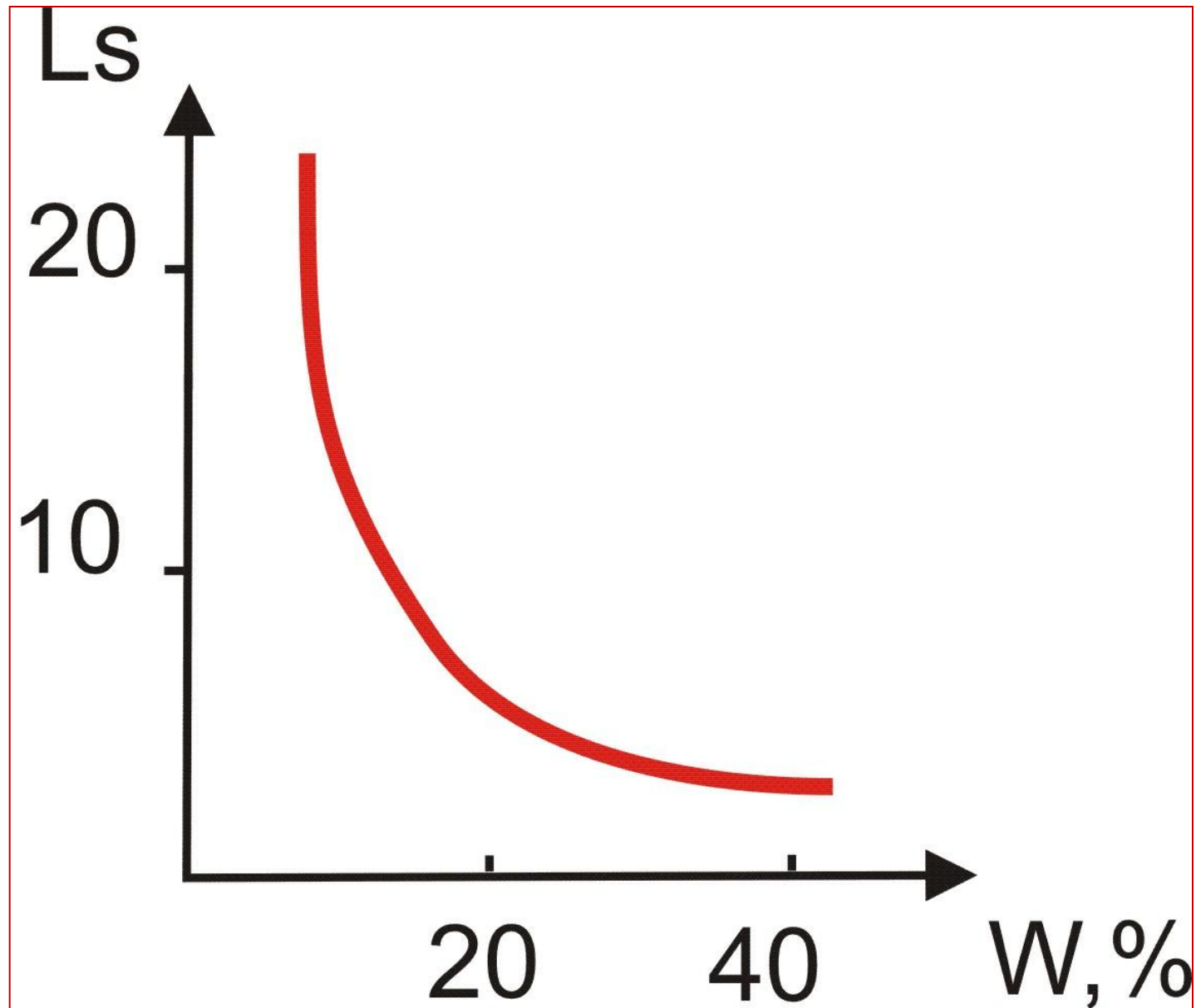
ННМ-НТ. Изменение плотности регистрируемых нейтронов.



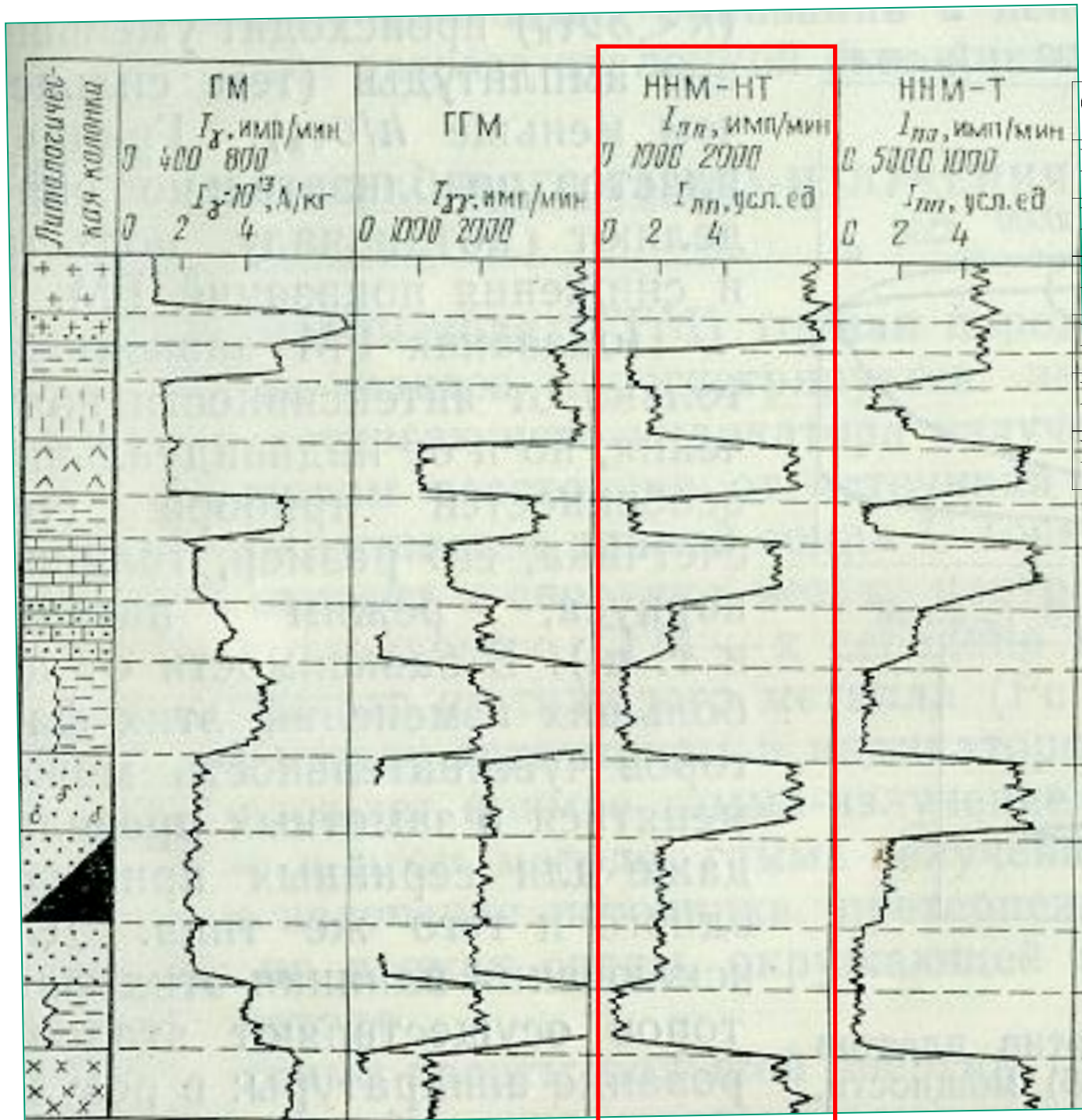
СРЕДА	L_s	L_d	τ
Вода	7,7	1,4	207
Нефть	10	2,1	190-215
Гипс	10	3,7	268
Глина	10	7,6	414
Кварц	27	17,6	1138
NaCl	21	1,0	6,1

Расстояние от источника

Зависимость длины замедления надтепловых нейтронов от концентрации водорода



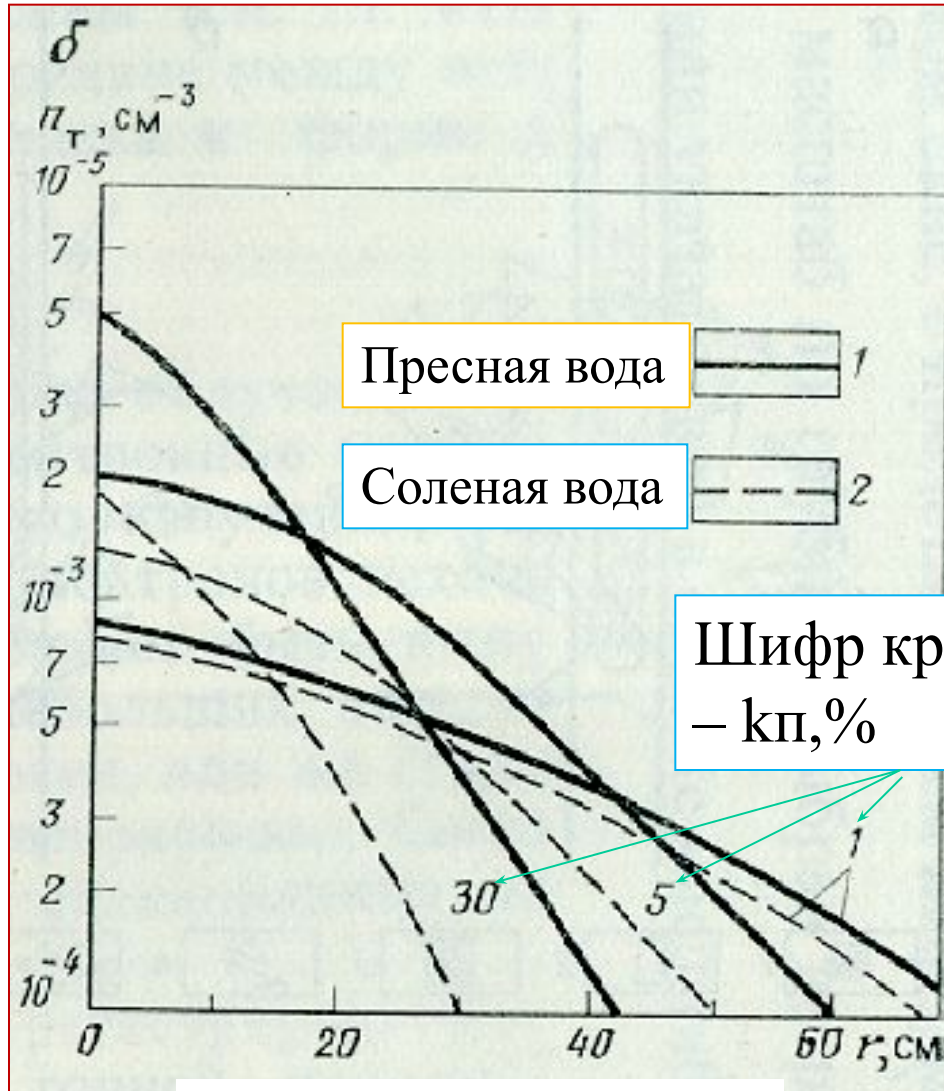
Диаграммы радиоактивных методов. **ННМ-НТ**



СРЕДА	L_s	L_d	τ
Вода	7,7	1,4	207
Нефть	10	2,1	190-215
Гипс	10	3,7	268
Глина	10	7,6	414
Кварц	27	17,6	1138
NaCl	21	1,0	6,1

Нейтрон-нейтронный метод по тепловым нейтронам ННМ-Т

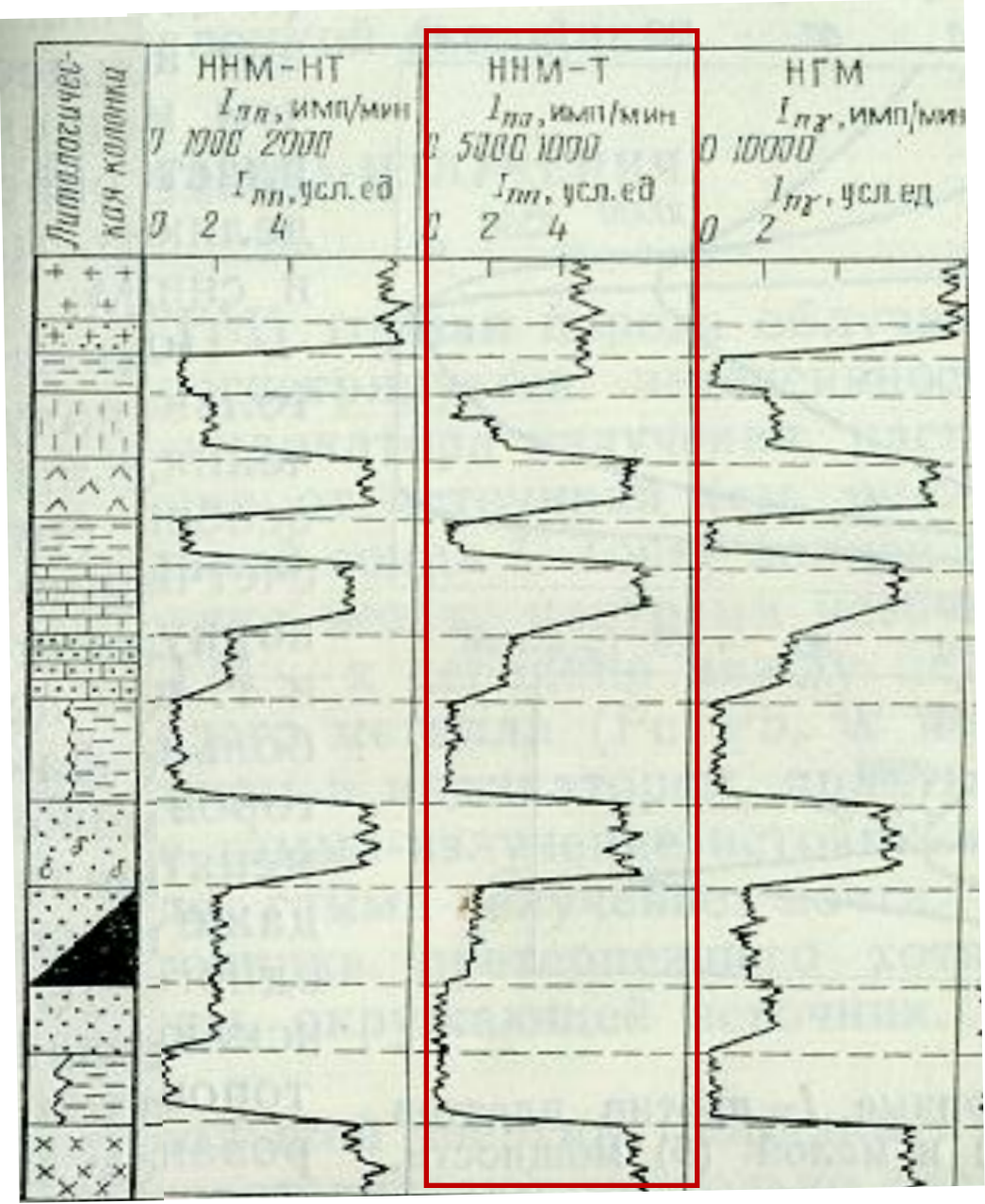
ННМ-Т. Изменение плотности регистрируемых нейтронов.



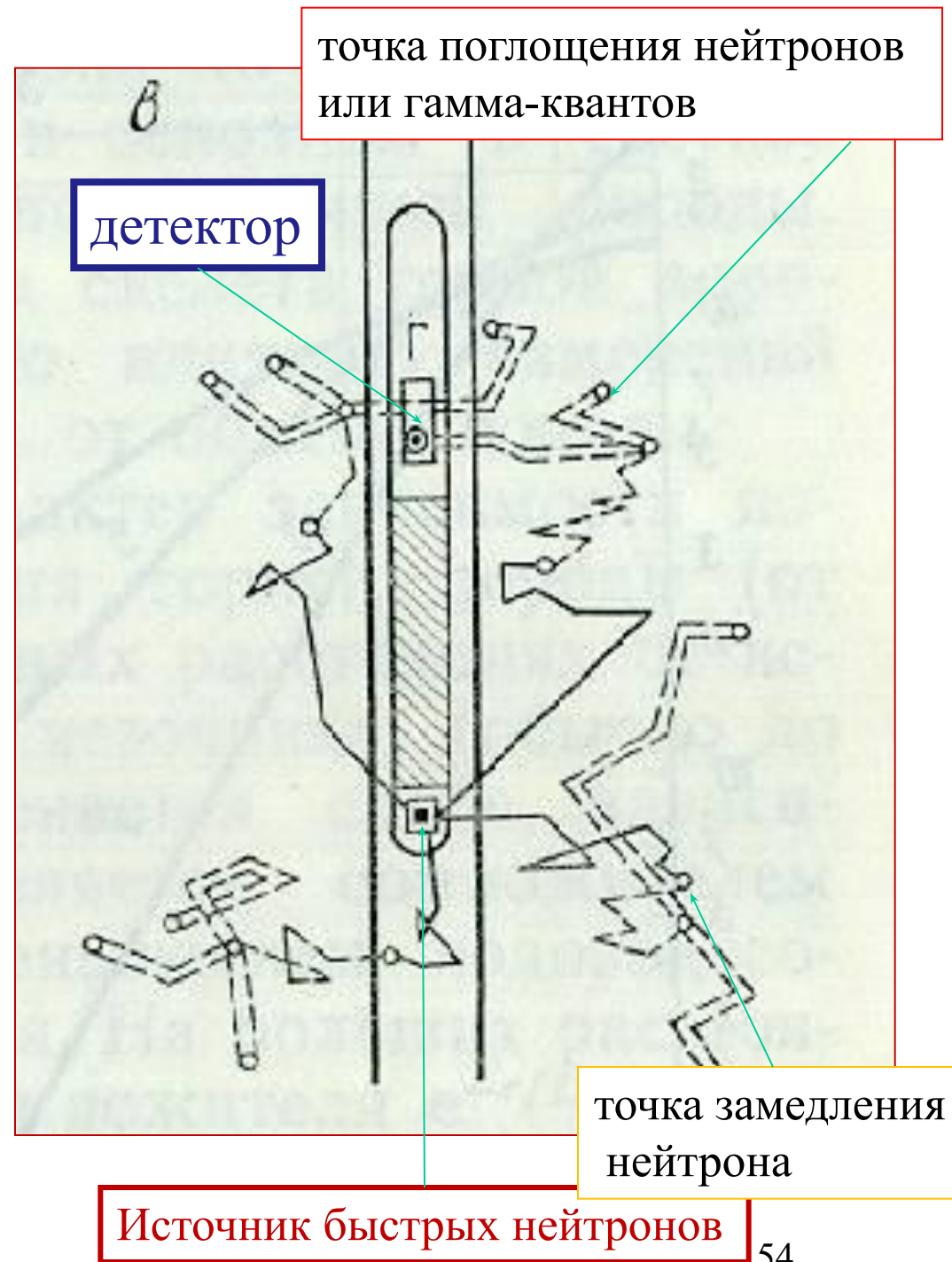
Расстояние от источника

СРЕДА	L_s	L_d	τ
Вода	7,7	1,4	207
Нефть	10	2,1	190-215
Гипс	10	3,7	268
Глина	10	7,6	414
Кварц	27	17,6	1138
NaCl	21	1,0	6,1

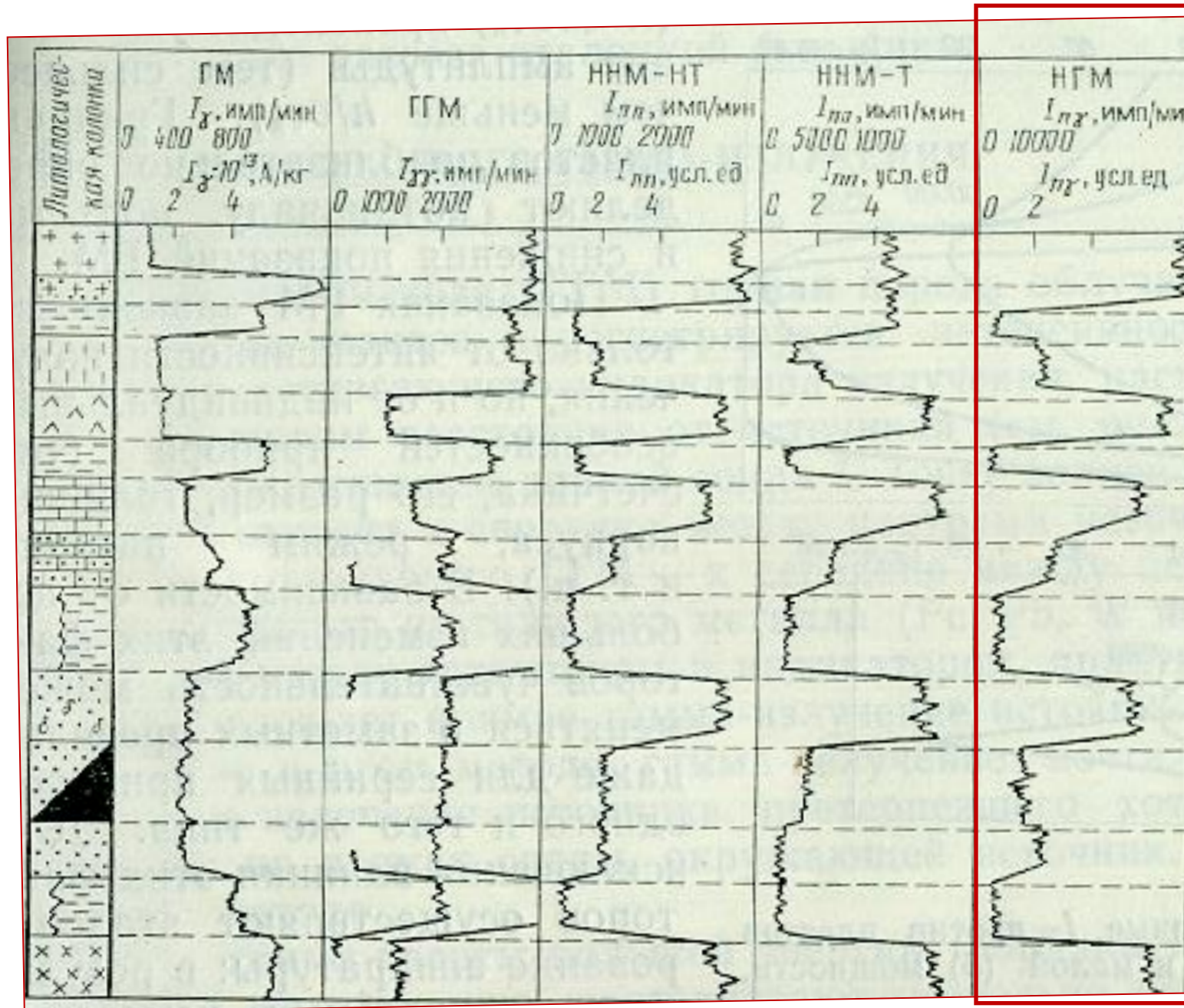
Диаграммы радиоактивных методов. **НМ-Т**



**Методы вторичного
гамма-излучения.
НЕЙТРОННЫЙ
ГАММА- МЕТОД
(радиационный захват
тепловых нейтронов -
вторичное
 γ -излучение)**



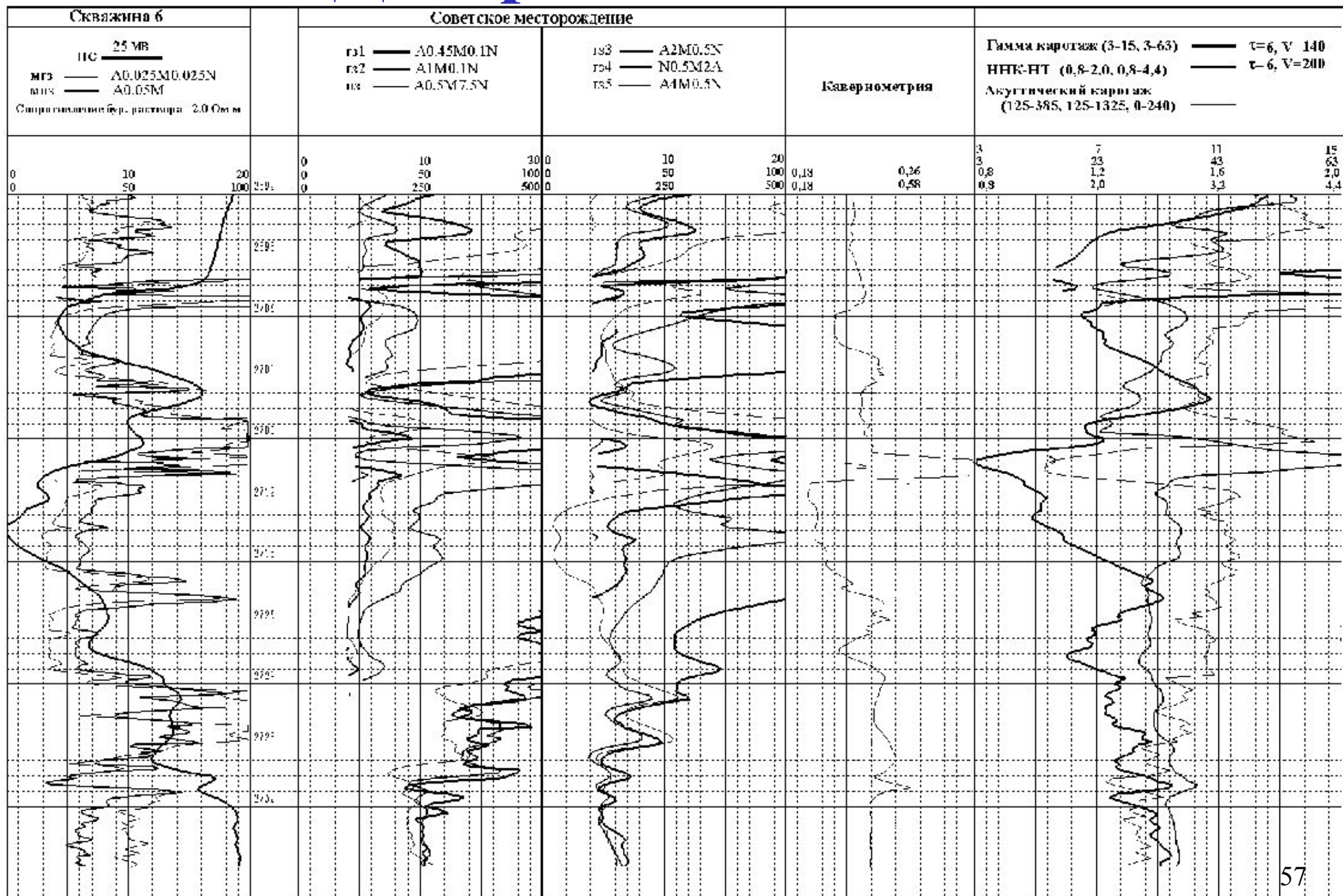
Диаграммы радиоактивных методов. НГМ.



ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДИАГРАММ ННМ-НТ

Цель – освоение методики обработки и интерпретации данных ННМ-НТ с использованием 2-х эталонов (определение K_{II})

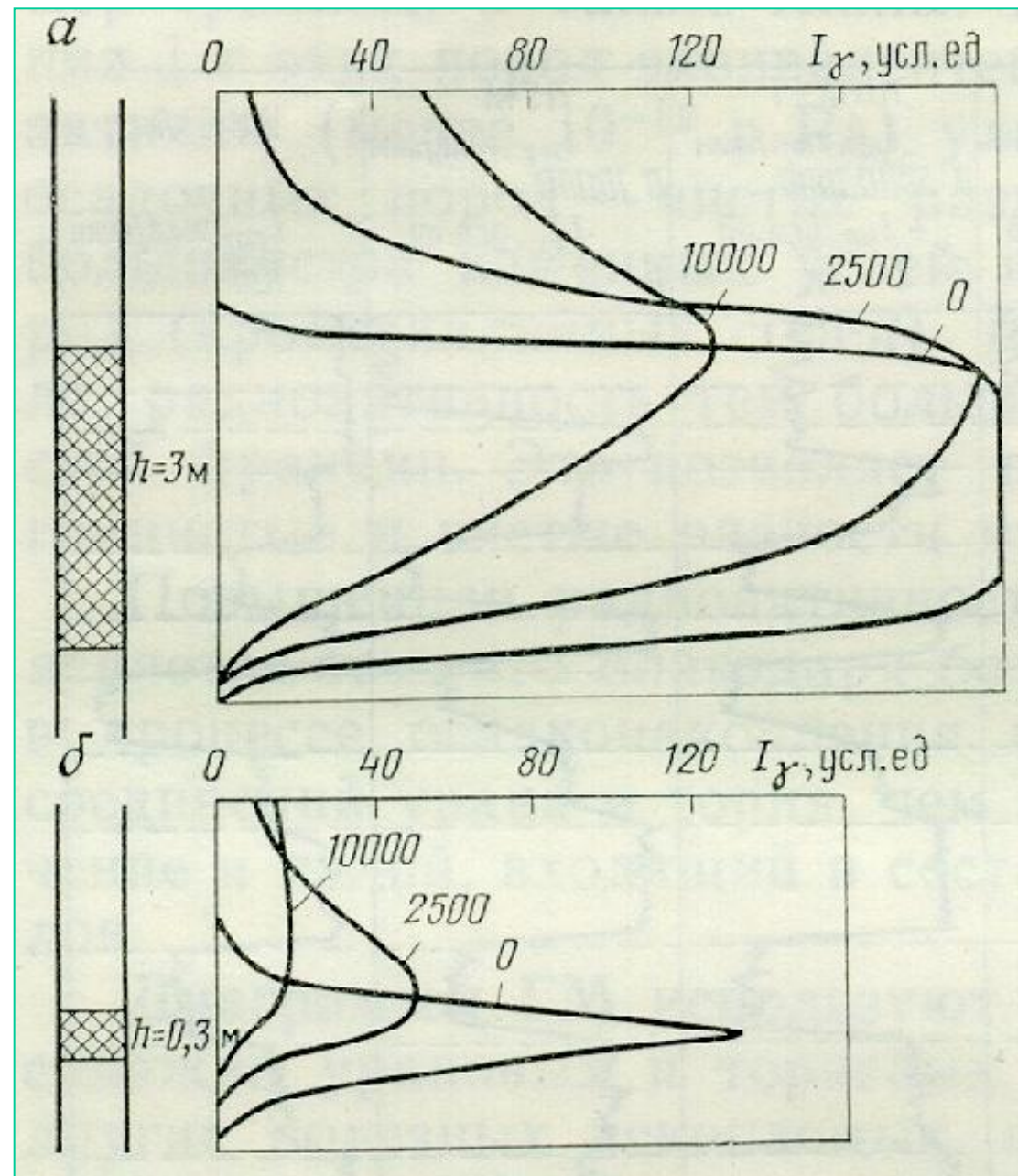
Диаграмма ННМ-НТ



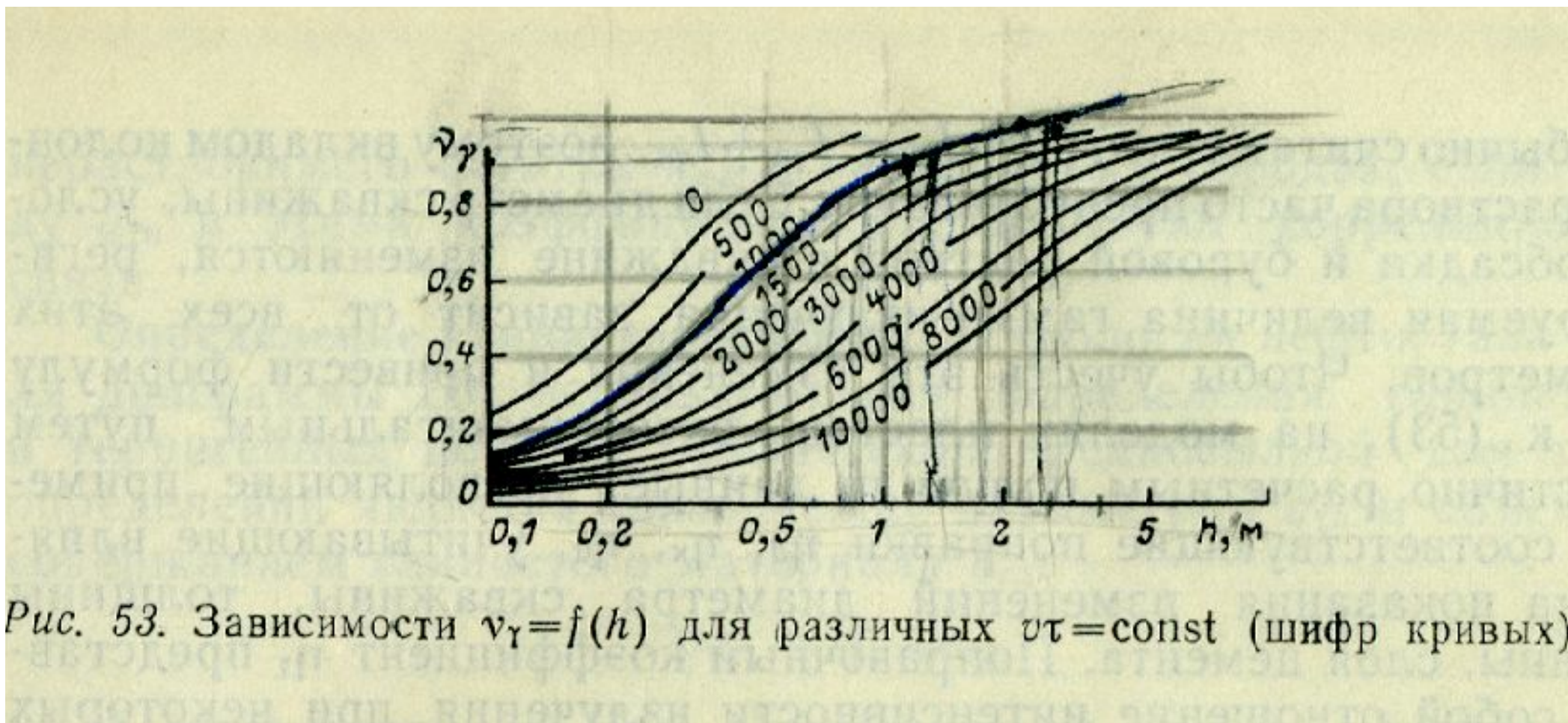
Расчленение разреза на пласты (по точкам перегиба)

Кривые I_{γ} против пластов
большой (а) и малой (б)
мощности.

Шифр кривых $-v \cdot \tau$, м/ч · с



3. Приведение к условиям пласта бесконечной мощности (Поправка за инерционность регистрации и мощность пласта)



Порядок выполнения работы

1. Расчленение разреза на пласты
2. Снятие амплитуд I_{ni}
3. Приведение амплитуд к условиям пласта бесконечной мощности.
4. Выбор первого опорного пласта (ОП1, MIN).
5. Выбор второго опорного пласта (ОП2, MAX).
6. Построение интерпретационной номограммы.
7. Расчет в пределах пласта-коллектора разностного параметра для каждого пропластка ΔI_{ni}
8. Определение индекса водородосодержания W_{ni}
9. Расчет коэффициента пористости пропластков K_{ni}
0. Расчет коэффициента пористости пластов-коллекторов $K_{n\Sigma}$

Диаграмма ННМ-НТ

