

НЕЙТРОННЫЕ МЕТОДЫ (ННМ-НТ, ННМ-Т, НГМ)

Курс
«ГФИ скважин»
проф. В.И.Исаев

Радиоактивные методы ГИС

1. Гамма-метод (ГМ, ГК), регистрация естественной гамма-активности горных пород

2. Гамма-гамма метод (ГГМ), регистрация рассеянного гамма-излучения

-ГГМ-П

-ГГМ-С

3. Нейтрон-нейтронный метод (ННМ), регистрация рассеянных нейтронов

- ННМ-НТ

- ННМ-Т

4. Нейтронный гамма-метод (НГМ), регистрация вторичного гамма-излучения

Явление радиоактивности

Ядра элементов состоят:

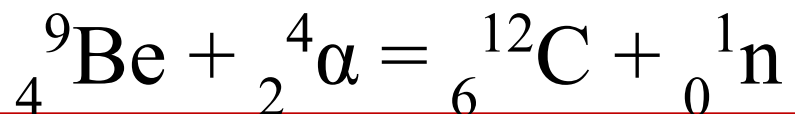
- **протоны** – ${}_{+1}^1\text{p}$, положительно заряженные частицы единичной массы (заряд $+1,6 \times 10^{-19}$ Кл; масса $1,7 \times 10^{-27}$ кг), в сумме определяют заряд ядра и порядковый номер в периодической системе
- **нейтроны** – ${}^1_0\text{n}$, электрически нейтральные частицы единичной массы
- сумма **p** и **n** определяет массу ядра

Источники нейтронов

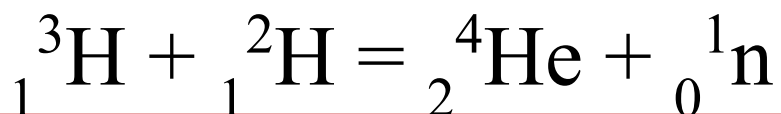
Естественных источников нейтронов практически нет.

Применяются нейтронные генераторы:

1. Изотоп бериллия ${}_4^9\text{Be}$ взаимодействует с альфа-излучением ${}_2^4\alpha$.
2. Сверхтяжелый изотоп водорода (тритий ${}_1^3\text{H}$) взаимодействует с ядрами тяжелого водорода (дейтерия ${}_1^2\text{H}$).



Ампульный источник ($E_n=11\text{МэВ}$)



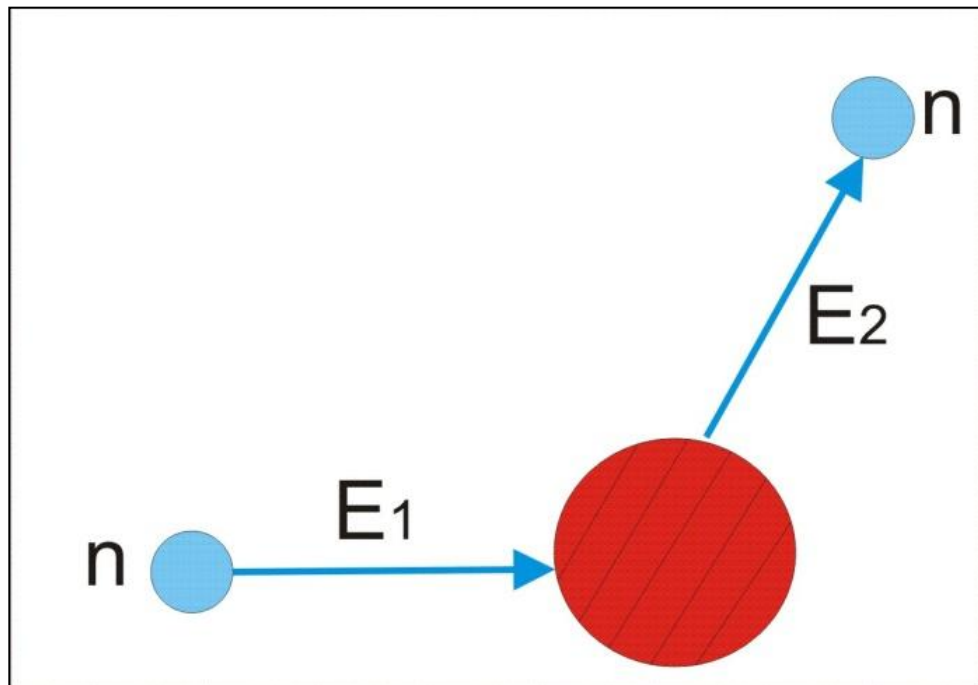
Генератор нейтронов ($E_n=14\text{МэВ}$)

Энергетическая характеристика нейтронов

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

1. Тепловые ($E_n < 1 \text{ эВ}$)
2. Надтепловые ($1 \text{ эВ} < E_n < 1 \text{ МэВ}$)
3. Быстрые, ($E_n > 1 \text{ МэВ}$)
 - Нейтроны распространяются в горной породе на расстояние 10-15 см.
 - Нейтроны взаимодействуют только с ядрами атомов.

Взаимодействие нейтронов с веществом



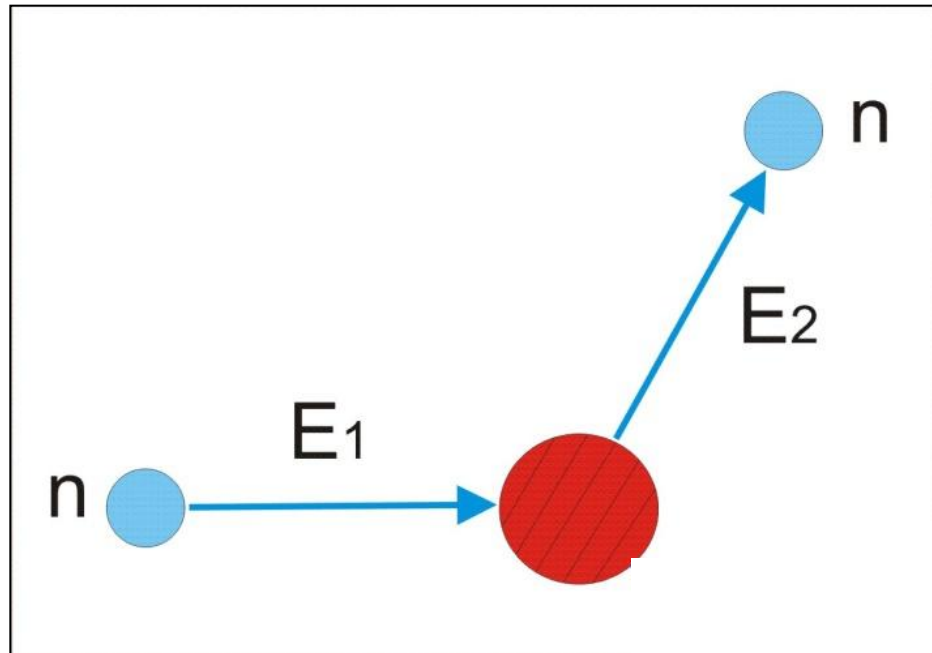
$$1) E_2 \approx E_1$$

Упругое рассеивание –

с веществом
взаимодействуют
надтепловые нейтроны с
 $E = 1 \text{ эВ} - 1 \text{ МэВ}$.

При взаимодействии с ядрами
тяжелых элементов,
энергия нейтрона
практически не меняется.

Взаимодействие нейтронов с веществом



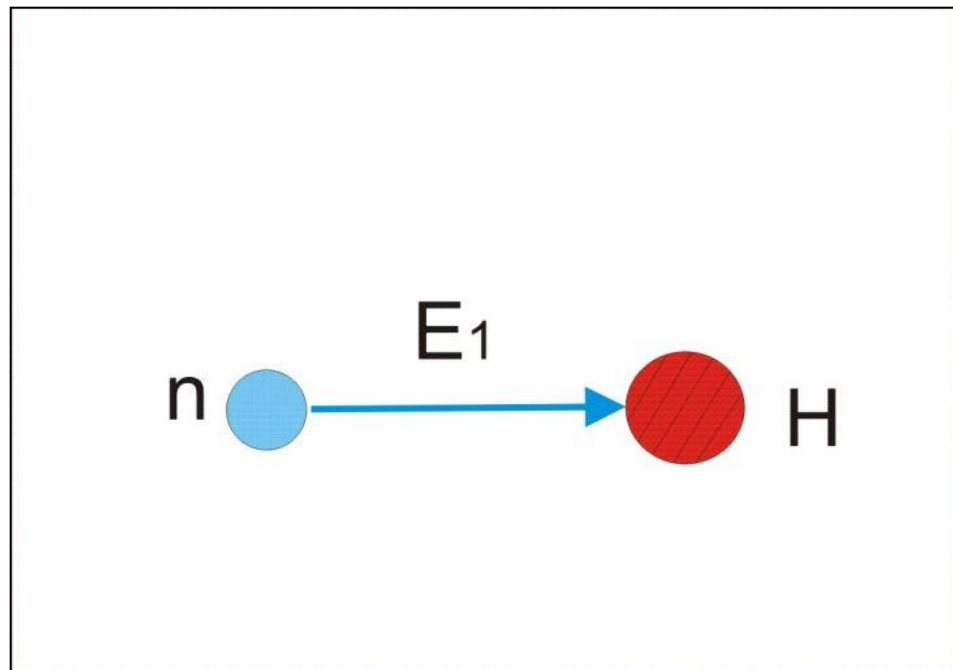
$$2) E_2 < E_1$$

Упругое рассеивание –

с веществом взаимодействуют надтепловые нейтроны с $E = 1 \text{ эВ} - 1 \text{ МэВ}$.

При взаимодействии с ядрами меньших размеров происходит потеря части энергии.

Взаимодействие нейтронов с веществом



$$3) E_2 = 0$$

Упругое рассеивание –

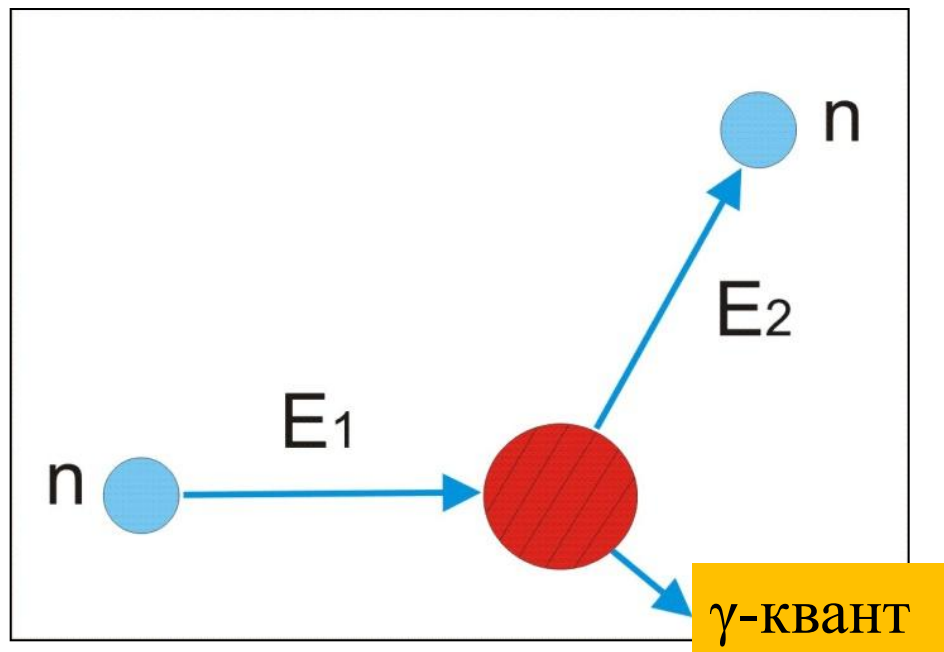
наибольшая потеря энергии происходит при соударении с ядрами легких элементов.

Максимальные потери энергии у надтеплого нейтрона будут наблюдаться при соударении с ядрами атомов водорода.

Потеря энергии при взаимодействии с веществом горной породы в первую очередь будет зависеть от их водородосодержания. А их водородосодержание, в свою очередь, будет зависеть от пористости.

Изучение эффекта упругого рассеивания – это основа ННК-НТ.

Взаимодействие нейтронов с веществом



$$E_2 < E_1$$

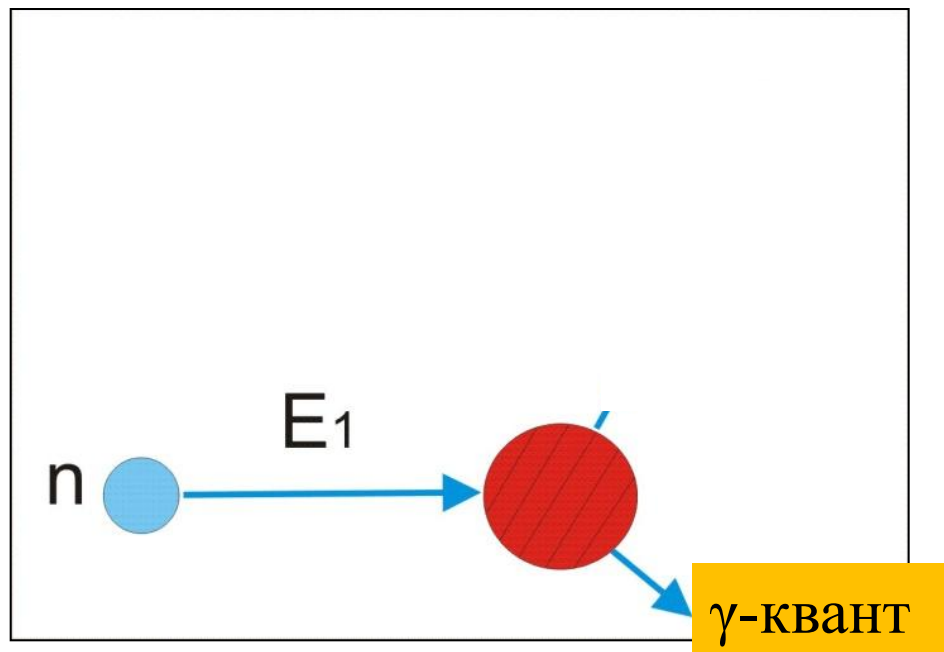
Неупругое рассеивание –

во взаимодействие вступают нейтроны с $E > 1$ МэВ. Быстрые нейтроны взаимодействуют с ядрами тяжелых элементов. Часть энергии затрачивается на возбужденные ядра. Когда ядро возвращается в стабильное состояние, оно испускает **гамма-кванты**.

Спектр энергий гамма-квантов индивидуален для ядер разных элементов. Это вторичное гамма-излучение называется гамма-излучением неупругого рассеяния (ГИНР).

Изучение эффекта неупругого рассеяния – это основа НГК

Взаимодействие нейтронов с веществом



$$E_2 = 0$$

Радиационный захват – с веществом взаимодействуют нейтроны с $E < 1$ эВ – тепловые. Они захватываются ядром и в момент их поглощения происходит **гамма-излучение**.

Аномальный поглотитель тепловых нейтронов – NaCl. Это вторичное гамма-излучение называется гамма-излучение радиоактивного захвата (ГИРЗ).

Изучение эффекта радиационного захвата – это основа НГК

РЕГИСТРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ

Конструкция счетчиков аналогична **гамма – методу** (ГМ, ГК).

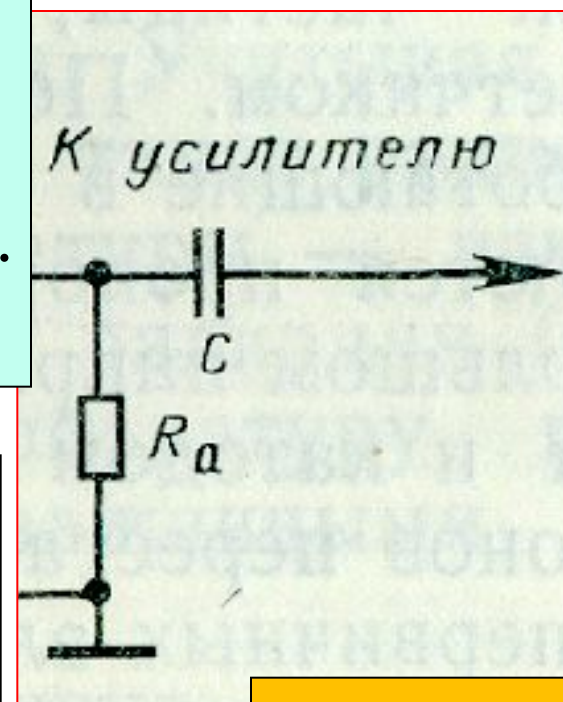
1. Газоразрядные счетчики (пропорциональные)
2. Сцинтилляционные счетчики (пропорциональные ,
сцинтиллятор – смесь сернистого цинка и соединения бора)

Постоянная времени интегрирующей ячейки:

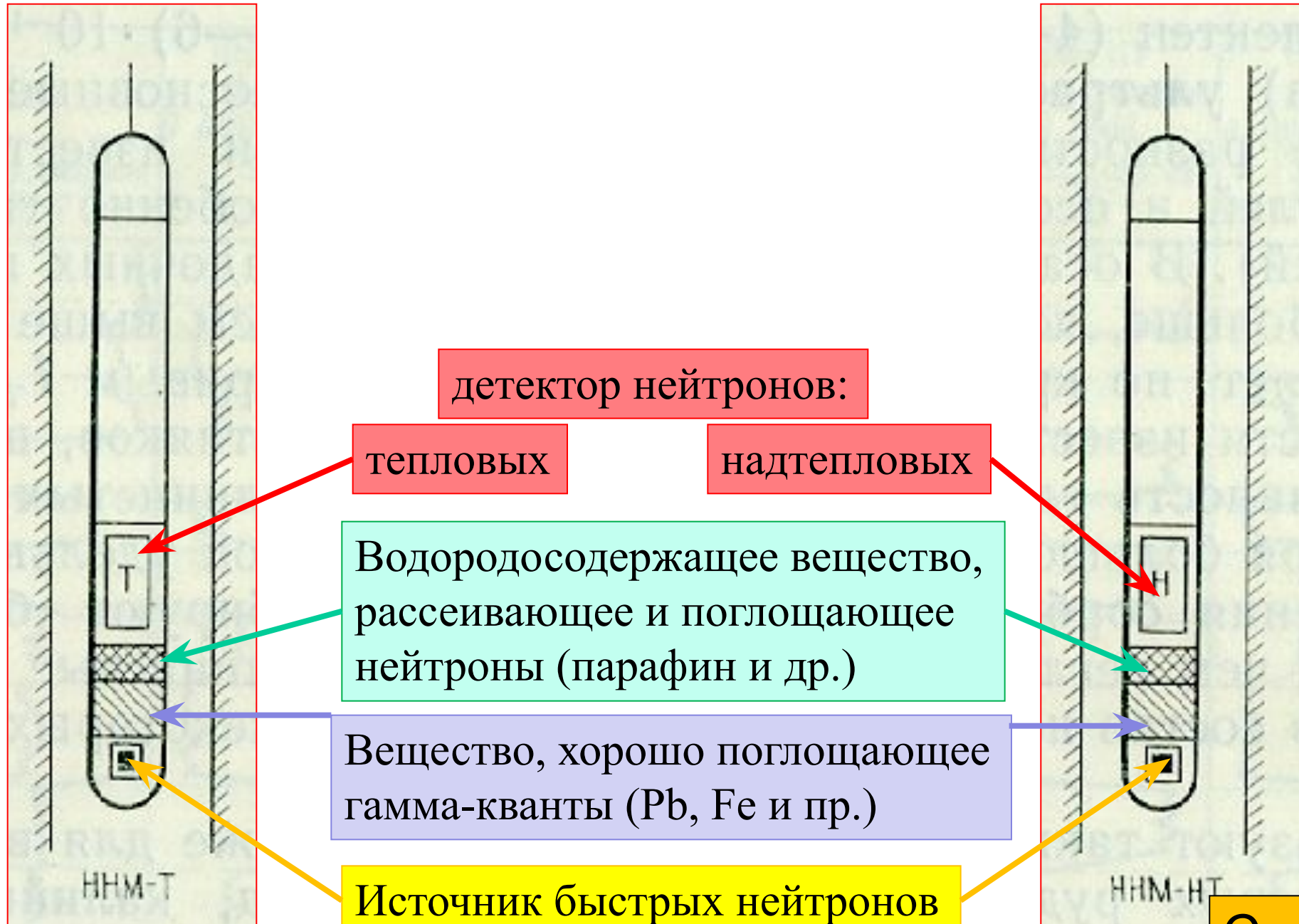
$\tau = C \times R_a$ - время накопления зарядов –
дискретность записи сигнала - диаграммы, сек.

Факторы, влияющие на форму диаграммы (как у ГМ):

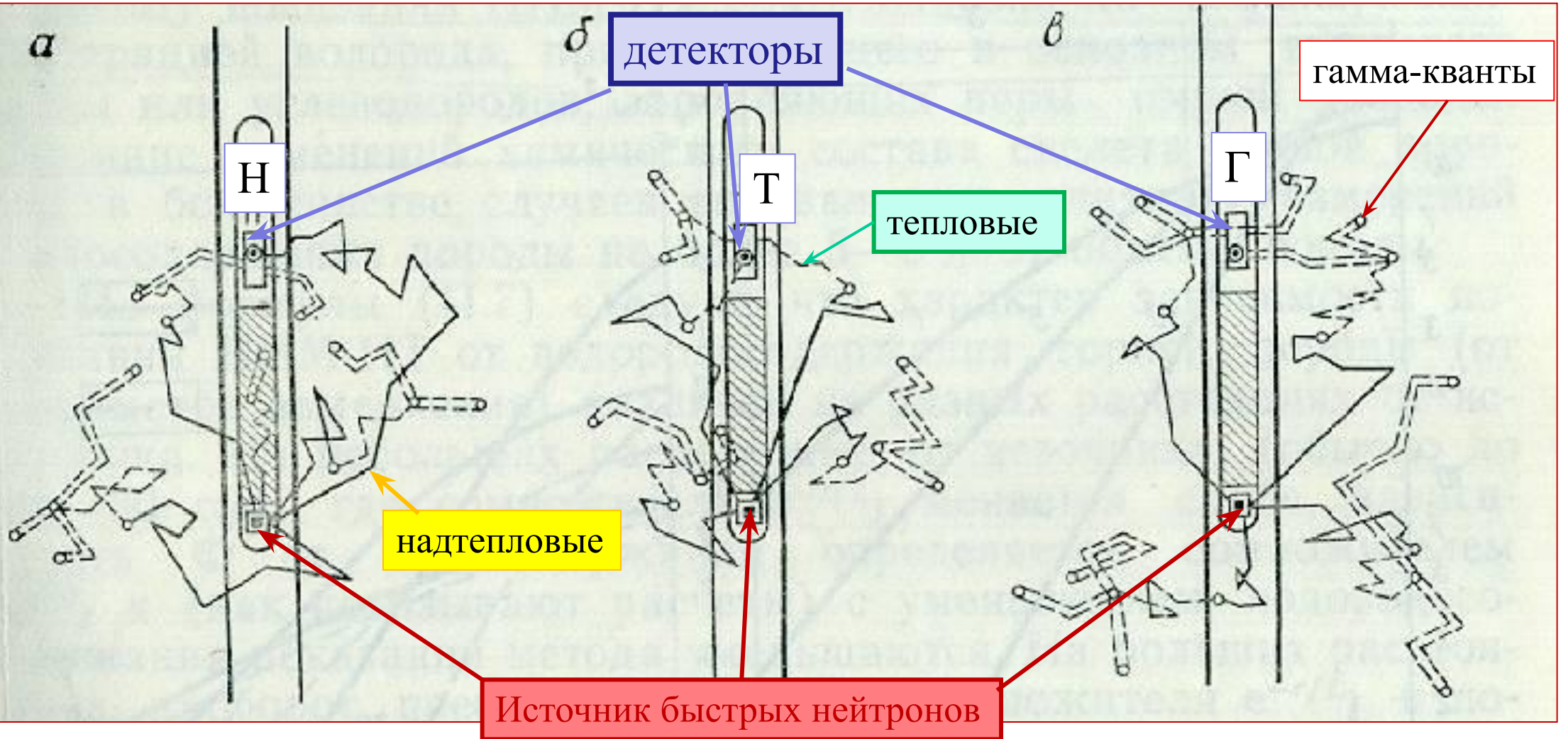
- 1) Инерционность (запаздывание) регистрации
- 2) Осреднение в интервале зоны влияния (30 см)



ЗОНДЫ НЕЙТРОННОГО МЕТОДА (ННМ-Т, ННМ-НТ)



СХЕМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕЙТРОНОВ



НЕЙТРОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕД

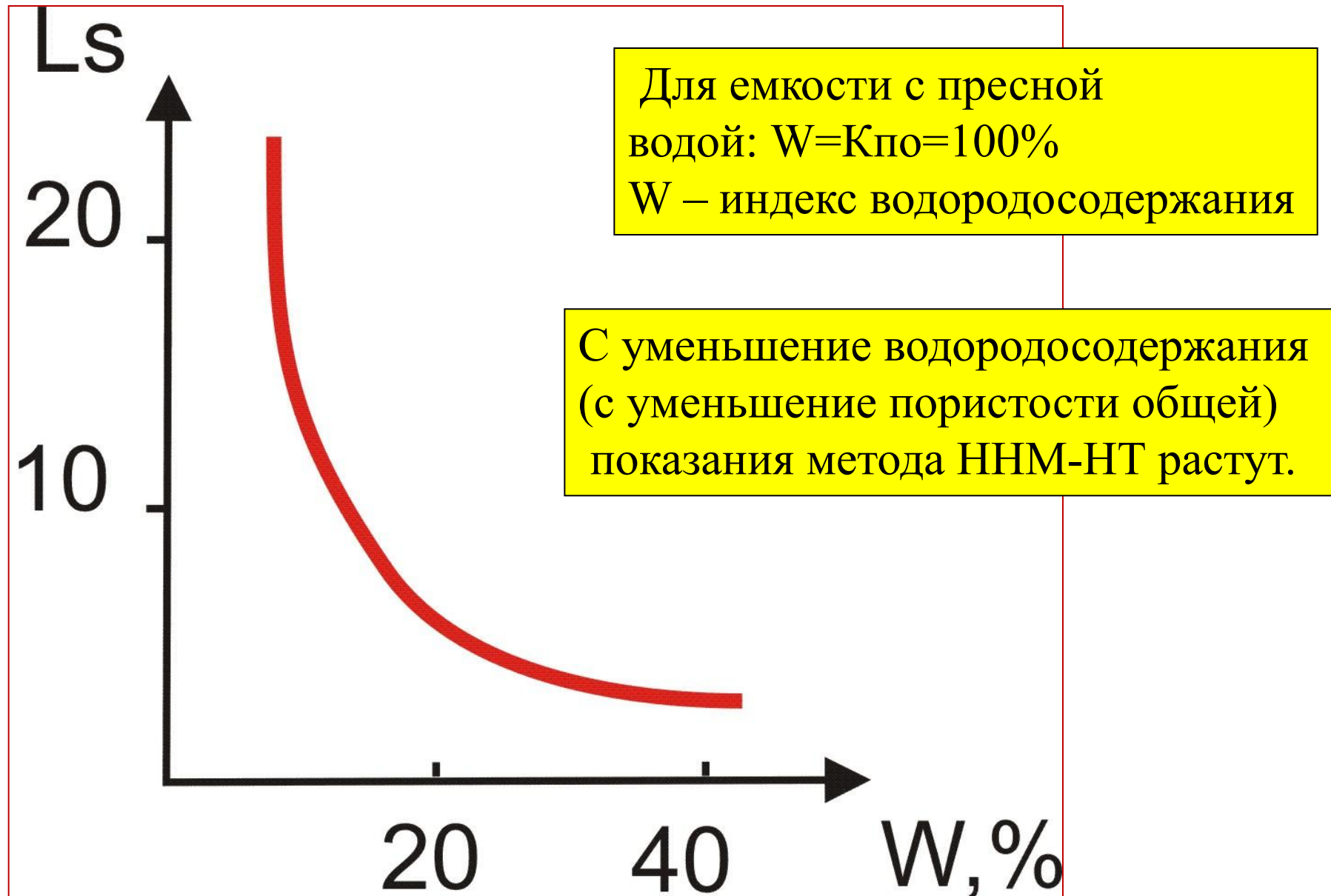
1. **Длина замедления быстрых нейтронов** (расстояние от источника быстрых нейтронов до места, где нейтрон превращается в тепловой), см - L_s
2. **Длина диффузии** (расстояние от места зарождения теплового нейтрона до места его поглощения), см - L_d
3. **Время жизни тепловых нейтронов**, мксек - τ

Нейтронные характеристики сред

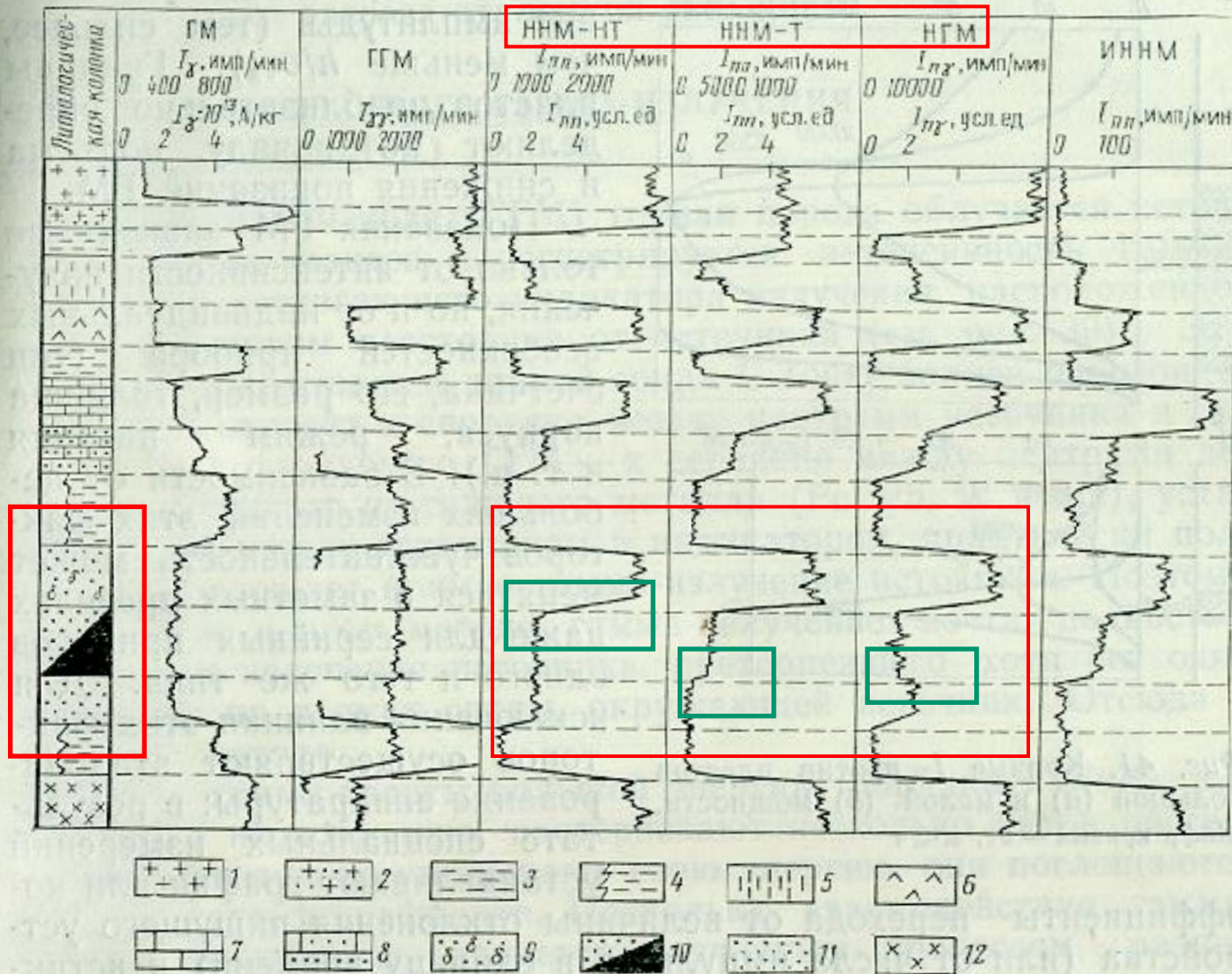
| СРЕДА | L_s | L_d | τ |
|-------|------------|------------|------------|
| Вода | 7,7 | 1,4 | 207 |
| Нефть | 10 | 2,1 | 190-215 |
| Гипс | 10 | 3,7 | 268 |
| Глина | 10 | 7,6 | 414 |
| Кварц | 27 | 17,6 | 1138 |
| NaCl | 21 | 1,0 | 6,1 |

Лучшим замедлителем нейтронов является **вода**, нефть (водород), а самым сильным поглотителем нейтронов является **NaCl** (пластовая вода).

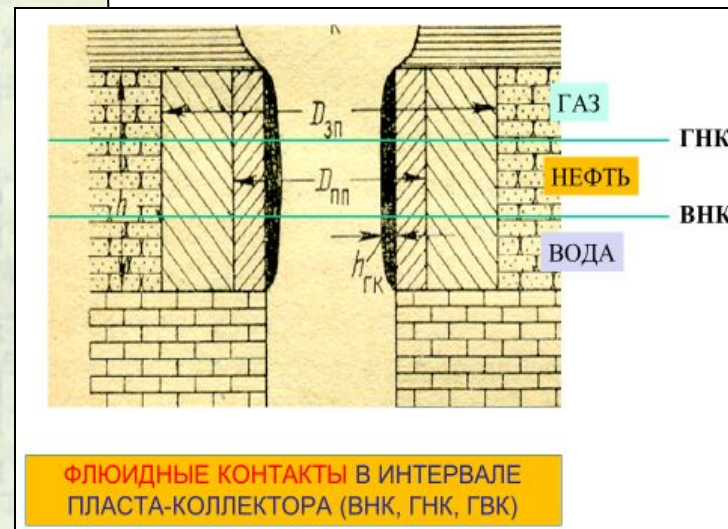
Зависимость длины замедления надтепловых нейтронов от водородосодержания (пористости общей)



Диаграммы радиоактивных методов. ННМ.



| 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 |

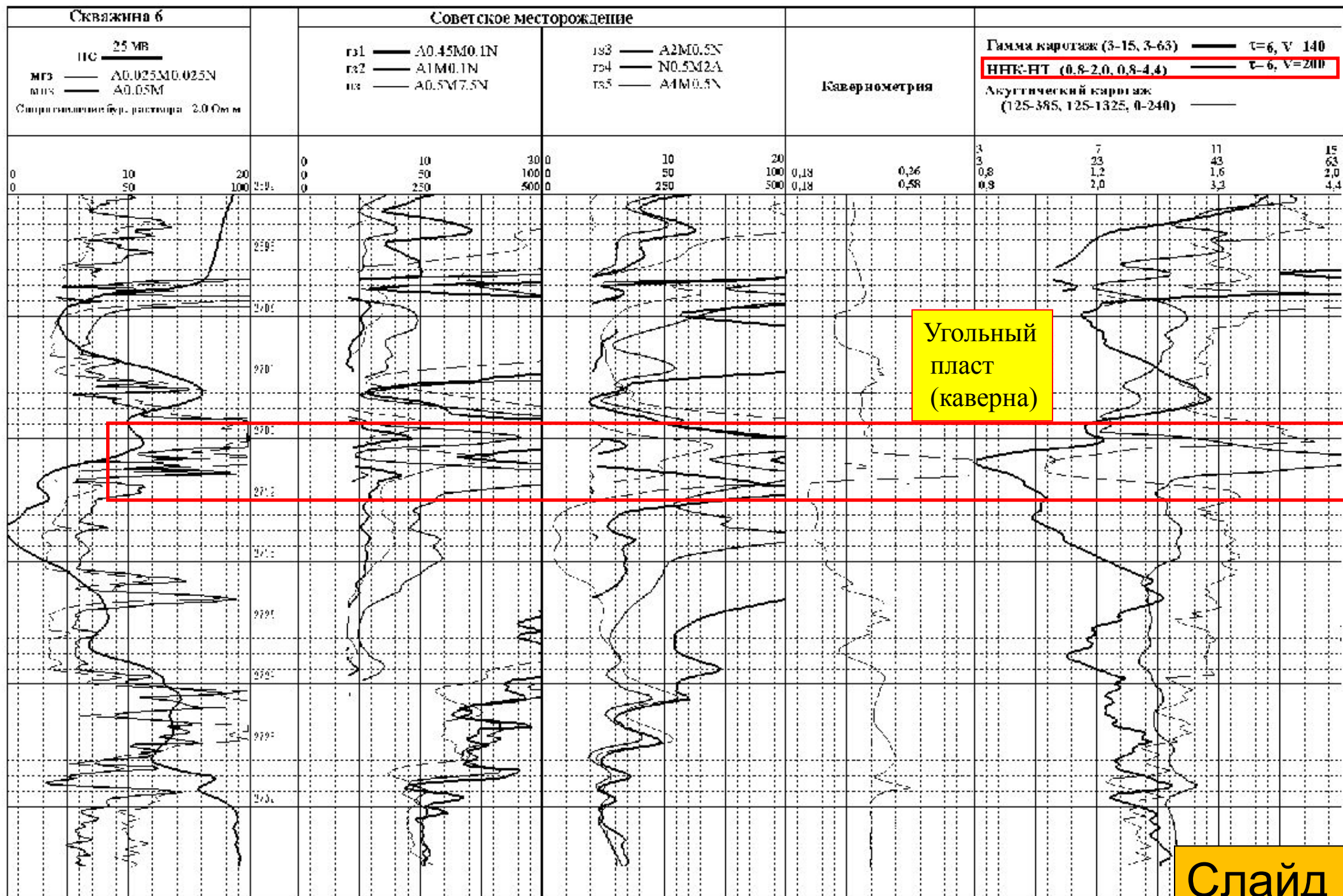


ФЛЮИДНЫЕ КОНТАКТЫ В ИНТЕРВАЛЕ ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА (ВНК, ГНК, ГВК)

Рис. 40. Схематические диаграммы, полученные ядерными методами в разрезе осадочных пород.

1 — каменная соль; 2 — калийная соль; 3 — глина; 4 — размывтый пласт с глубокой каверной; 5 — гипс; 5 — ангидрит; 7 — известняк визкопористый; 8 — известняк высокопористый; песчаник (песок); 9 — газоносный; 10 — нефтеносный; 11 — водососны; 12 — метаморфизованная порода

Диаграмма скважины Советского месторождения



Порядок обработки и интерпретации данных ННМ-НТ

1. Расчленение разреза на пласты
2. Снятие амплитуд для каждого пласта - 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 пласта ΔI_{ni}
8. Определение индекса водородосодержания ω_{ni}
9. Расчет коэффициента пористости пластов K_{ni}
10. Расчет коэффициента пористости пластов-коллекторов $K_{n\Sigma}$

ФОРМА ИНТЕРПРЕТАЦИОННОЙ ТАБЛИЦЫ ДАННЫХ ННМ-НТ

| N ПЛ | Кровля, м | Подшва, м | h, м | I _n , у.е. | I _{пвм} , у.е. | v, о.е. | I _∞ , у.е. | I _{∞оп1} , у.е. | I _{∞оп2} , у.е. | ΔI _n , у.е. | W, % | K _{пл} , о.е. | | | K _{п1} , % | K _{п2} , % |
|---------|-----------|-----------|------|--------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|------------------------|----|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | | | | | | | | | | | | ГМ | ПС | K _{ГЛ} среднее | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

Порядок обработки и интерпретации данных ННМ-НТ

1. **Расчленение разреза на пласты**
2. **Снятие амплитуд I_{ni}**
3. **Приведение амплитуд к условиям пласта бесконечной мощности**

п.п. 1-3 выполняются аналогично интерпретации гамма-метода

Порядок обработки и интерпретации данных ННМ-НТ

4. Выбор первого опорного пласта ($In_{\infty оп1}$) – минимальное значение в рамках исследуемого интервала, но не относящееся к угольному пласту (каверне).

5. Выбор второго опорного пласта ($In_{\infty оп2}$) – это максимальное показание против самого плотного пласта в пределах пласта-коллектора.

7. Расчет в пределах пласта-коллектора разностного параметра для каждого пропластка ΔI_{ni} по формуле:

$$\Delta I_{ni} = I_{n\infty i} - I_{n\infty \text{оп}1}$$

8. Определение индекса водородосодержания (W_{ni}) с помощью построенной номограммы, путем отложения по верхней оси величины ΔI_{ni} и проецирования её на ось W .

9. Расчет коэффициента пористости пластов ($Kп$) –

по формуле:

$$Kп = W - K_{гг\text{л}}_{\text{сред}} \cdot W_{\text{св}}$$

где $K_{гг\text{л}}_{\text{сред}}$ – считается как среднее арифметическое от коэффициентов глинистости, определенных ранее по методам ПС и ГК;

$W_{\text{св}}$ – индекс водородосодержания связанной воды, равный 15 %.

10. Расчет коэффициента пористости пластов-коллекторов ($Kп_{\Sigma}$) –

путем расчета средневзвешенного значения коэффициентов пористости всех пластов входящих в данный пласт-коллектор.