

В.И. Исаев

дисциплина

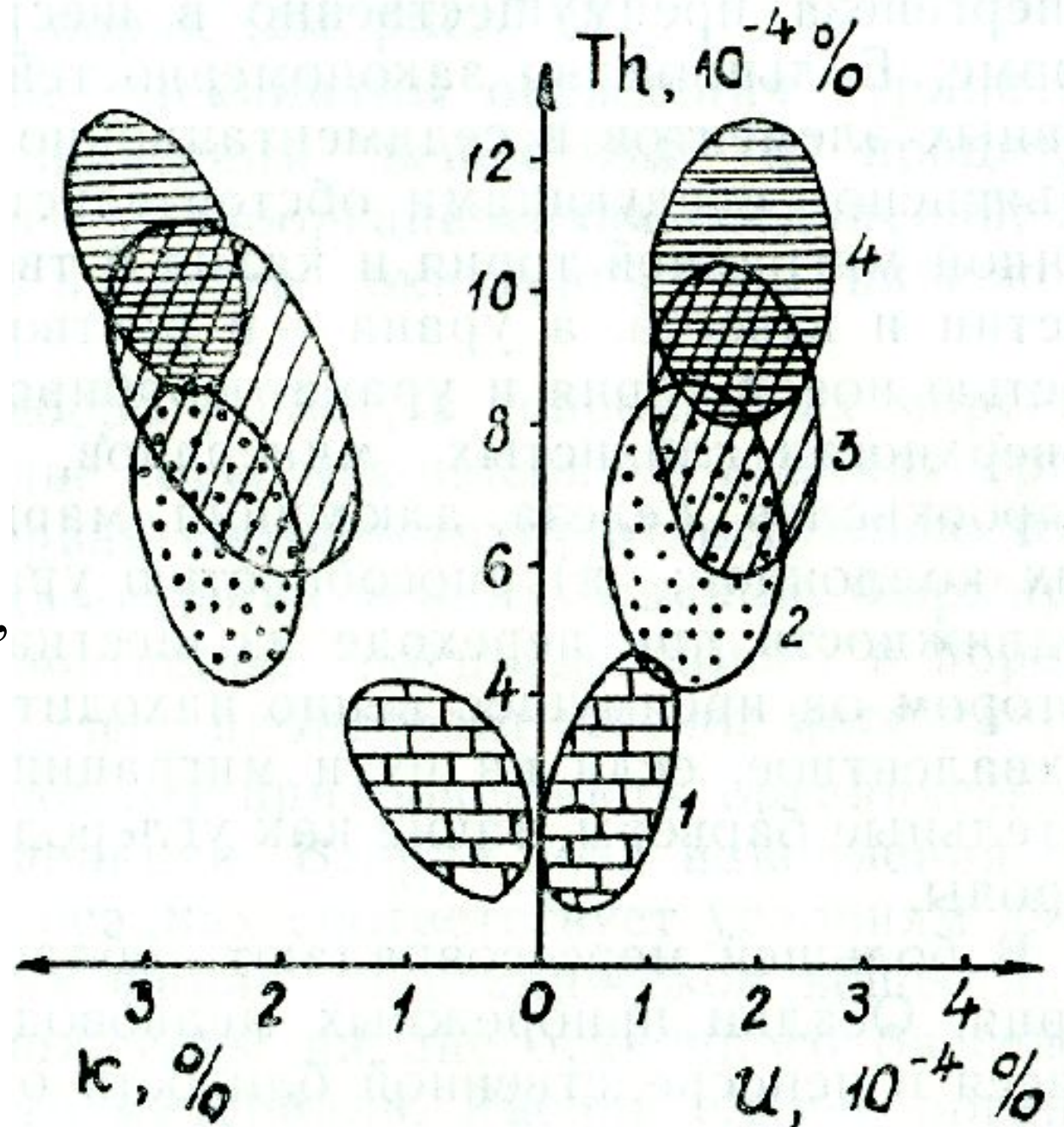
«Теория методов ГИС».

**ТЕОРИЯ РАДИОАКТИВНЫХ
МЕТОДОВ**

- 1. Гамма-каротаж
интегральный (ГК)**
- 2. Гамма-каротаж
спектрометрический (ГК-С)**

Радиоактивность осадочных горных пород. Радионуклиды.

Гамма-излучение калия (^{40}K) монохроматично - 1,46 МэВ. Энергетические спектры элементов урановых (^{238}U , ^{235}U) и ториевого (^{232}Th) рядов имеют несколько линий, наиболее интенсивные — 242, 355, 609, 1120, 1765 кэВ и 238, 338, 583, 911, 969, 1587, 2620 кэВ соответственно.



Радиоактивность горных пород

Активность a одного кубического метра вещества называют **удельной объемной активностью**.

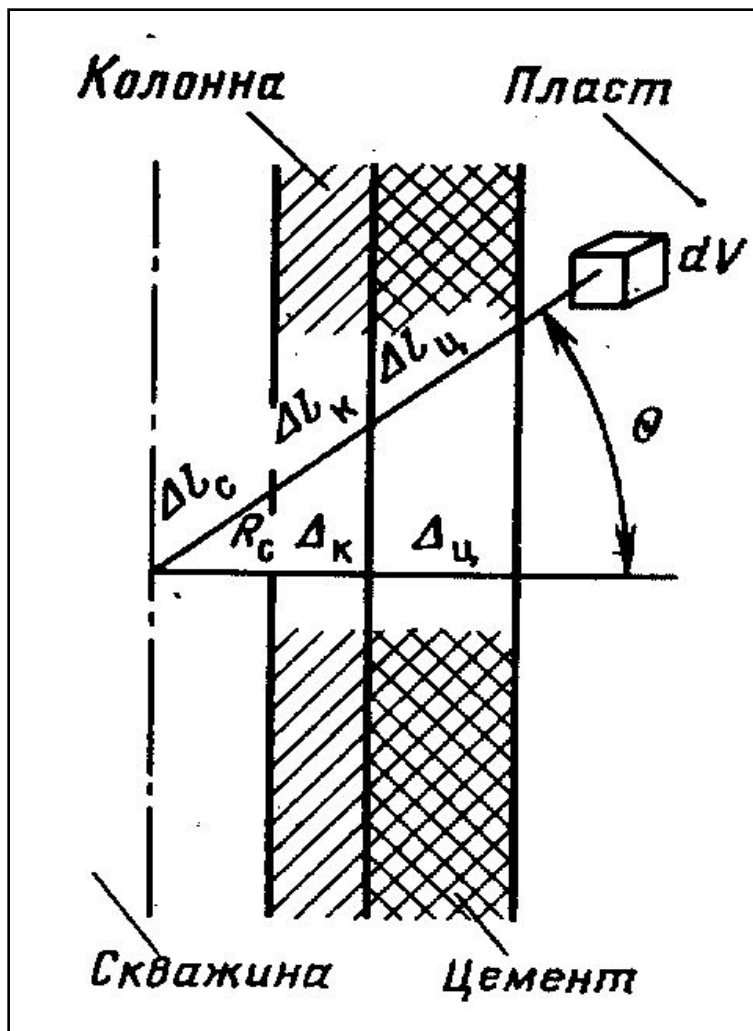
Величину $a_m = a/\delta$ (δ — плотность вещества) называют **удельной массовой активностью**.

Для практических целей используют **удельную объемную концентрацию Q_j** , определяющую содержание j -го естественного радиоактивного элемента (ЕРЭ) в граммах в 1 сантиметре кубическом,

и относительную величину — **удельную массовую концентрацию**

$$q_j = Q_j / \delta.$$

Решение прямой задачи интегрального ГК

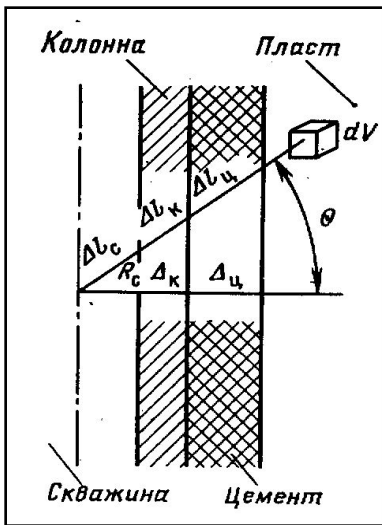


Решение прямой задачи заключается в нахождении зависимости показаний прибора от содержания ЕРЭ в пласте, вмещающих породах и промежуточных зонах — скважине, цементе, колонне. При приближенном аналитическом решении многократное рассеяние квантов учитывают, вводя **фактор накопления B** .

Поток излучения в любой точке считают созданным отдельными элементарными объемами, детектор точечным, а источники равномерно распределенными в областях кусочно-однородной среды.

Решение прямой задачи интегрального ГК

Плотность потока излучения **кусочно-однородного пространства**



$$\Phi_j = \frac{1}{4\pi} \sum_i a_j B_j \int_V \exp \left[- \sum_i \mu_{ij} \Delta l_i \right] \frac{dV}{(r - r_1)^2}.$$

где a_j — удельная объемная активность j -го $ЕРЭ$;

B_j — фактор накопления j -го $ЕРЭ$;

μ_{ij} — коэффициент ослабления излучения j -го $ЕРЭ$ в i -й среде, расположенной между точками r и r_1 ;

Δl_i — длина части отрезка, соединяющего точки r и r_1 в среде i .

*

Решение прямой задачи интегрального ГК

Плотность потока излучения для **однородной среды**
с точечным детектором в начале координат

$$\Phi_j = \frac{B_j a_j}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu_j r}}{r^2} 4\pi r^2 dr = \frac{B_j a_j}{\mu_j}.$$

Решение прямой задачи интегрального ГК

$$\Phi_j = \frac{B_j a_j}{4\pi} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu_j r}}{r^2} 4\pi r^2 dr = \frac{B_j a_j}{\mu_j}.$$

$$q_j = Q_j / \delta$$

Так как

$$a_j = \lambda_{pj} N_j / dV.$$

$$N_j / dV = N_A Q_j / A_j \dots$$

Получаем

$$\Phi_j = B_j \lambda_{pj} N_A q_j / A_j \mu_{mj},$$

где: λ_{pj} – параметр распада (вероятность распада за единицу времени) j -го $EPЭ$; N_j/dV - число ядер j -го $EPЭ$ в единице объема; N_A - число Авогадро; A_j - атомная масса j -го $EPЭ$; Q_j - объемная концентрация j -го $EPЭ$; $\mu_{mj} = \mu_j/\delta$ - массовый коэффициент ослабления излучения j -го $EPЭ$.

Решение прямой задачи интегрального ГК

Показания скважинного прибора в однородной среде, содержащей j -й ЕРЭ,

$$I_j = c_j \Phi_j = c_j V_j \lambda_{pj} N_A q_j / A_j \mu_{mj},$$

где c_j – аппаратная постоянная.

Введя коэффициент концентрационной чувствительности (C_j), характеризующий отклик прибора на излучение единицы удельной массовой концентрации j -го ЕРЭ,

$$C_j = c_j V_j \lambda_{pj} N_A / A_j \mu_{mj},$$

получим выражение в более компактной форме:

$$I_j = C_j q_j.$$

Решение прямой задачи интегрального ГК. Урановый эквивалент.

Показания скважинного прибора в однородной среде, содержащей j -й ЕРЭ,

$$I_j = C_U q_j e_{Uj}.$$

где C_U – коэффициент концентрационной чувствительности по урану.

q_j – удельные массовые концентрации урана (U), тория (Th) и калия (K).

e_{Uj} – урановые эквиваленты единичной концентрации урана (U), тория (Th) и калия (K).

Суммарное показание гамма-каротажа

$$I_\gamma = C_U \sum q_j e_{Uj}$$

Суммарная удельная массовая концентрация радионуклидов

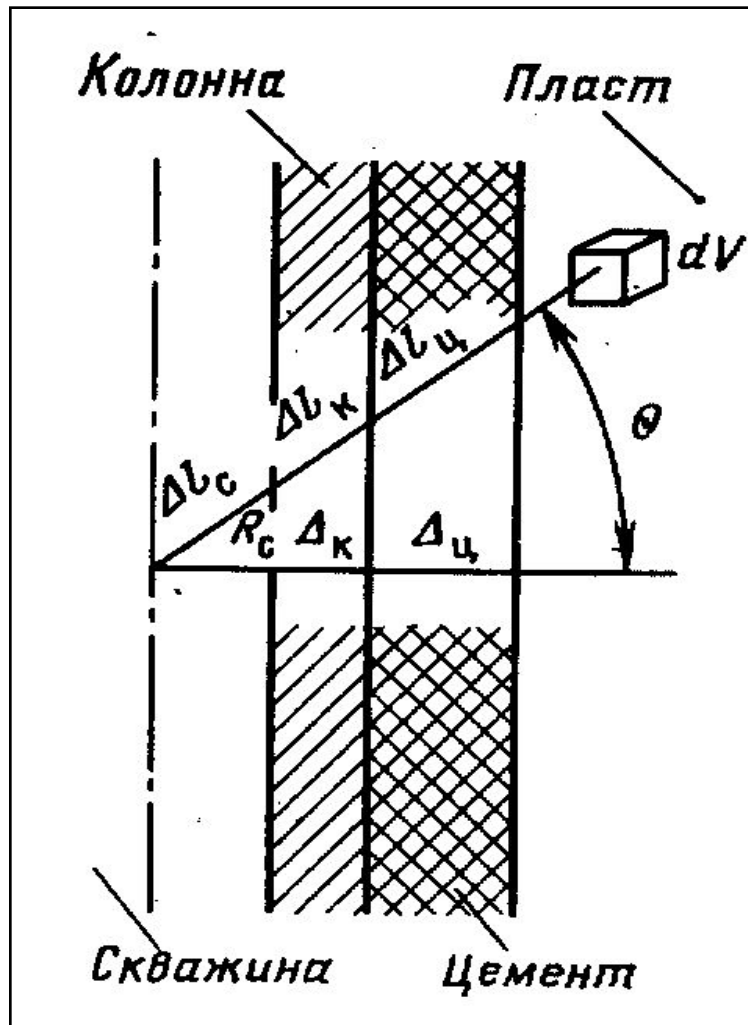
Суммарная удельная массовая концентрация смеси радионуклидов в единицах уранового эквивалента

$$\sum q_j e_{Uj} = I_\gamma / C_U,$$

где - $I_\gamma = \sum I_j$ скорость счета, зарегистрированная с помощью интегральной аппаратуры гамма-каротажа.

Коэффициент C_U , позволяющий перейти от импульсов в единицу времени к суммарной концентрации радионуклидов в 1 грамме породы, определяют экспериментально с помощью образцового источника γ -излучения.

Решение прямой задачи интегрального ГК



Для кусочно-однородной среды, содержащей пласт бесконечной мощности, плотность потока излучения равна сумме плотностей потоков, обусловленных пластом, скважиной, колонной и цементом

$$\Phi = \Phi_{\text{пл}} + \Phi_{\text{с}} + \Phi_{\text{к}} + \Phi_{\text{ц}}$$

В сферической системе координат

$$\Delta l_{\text{с}} = R_{\text{с}} / \cos\theta; \quad \Delta l_{\text{к}} = \Delta_{\text{к}} / \cos\theta;$$

$$\Delta l_{\text{ц}} = \Delta_{\text{ц}} / \cos\theta;$$

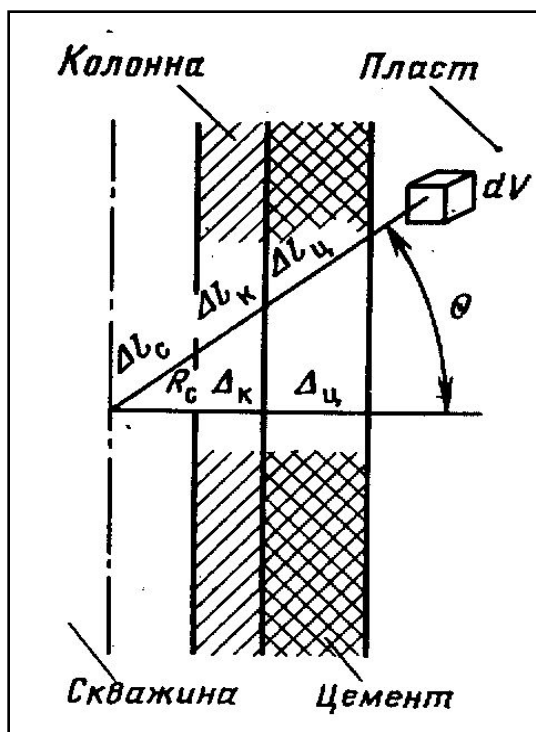
$$\Delta l_{\text{пл}} = r - (R_{\text{с}} + \Delta_{\text{к}} + \Delta_{\text{ц}}) / \cos\theta$$

Решение прямой задачи интегрального ГК

$$\Phi = \Phi_{пл} + \Phi_c + \Phi_k + \Phi_{ц}$$

Поток излучения пласта $\Phi_{плj}$, содержащего j -и ЕРЭ

$$\Phi_{плj} = \frac{B_{плj} a_{плj}}{\mu_{плj}} G(\Delta) = \frac{B_{плj} \lambda_{плj} N_A q_{плj}}{A_j \mu_{плj}} G(\Delta),$$



Где

$$G(\Delta) = \int_0^{\pi/2} \sin \theta \exp(-\Delta / \cos \theta) d\theta$$

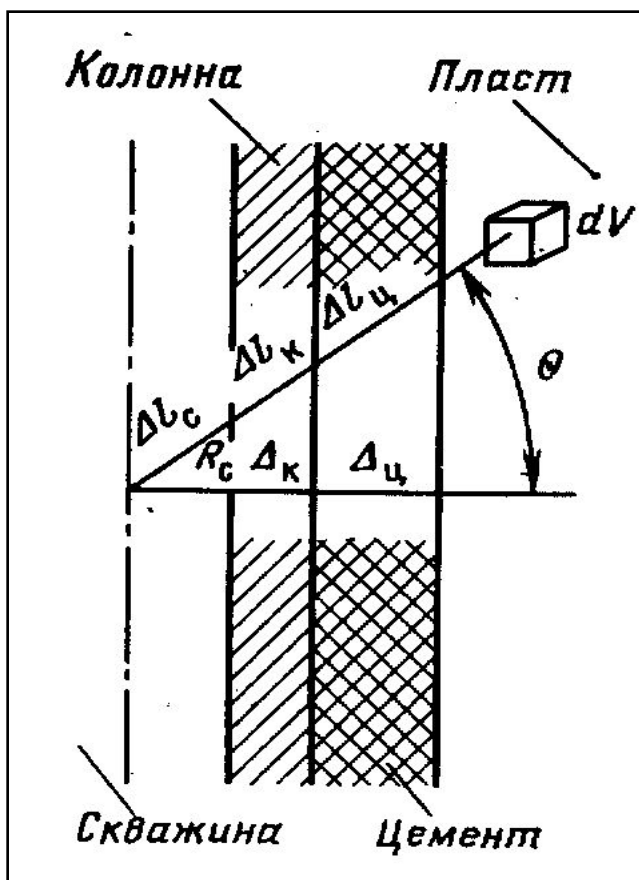
$$\Delta = \Delta_{ц} \mu_{цj} + \Delta_k \mu_{kj} + R_c \mu_{cj}$$

$$\Phi_j = \frac{B_j a_j}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu_j r}}{r^2} 4\pi r^2 dr = \frac{B_j a_j}{\mu_j}$$

$$\Phi_j = B_j \lambda_{pj} N_A q_j / A_j \mu_{mj}$$

Решение прямой задачи ГК. Геометрический фактор.

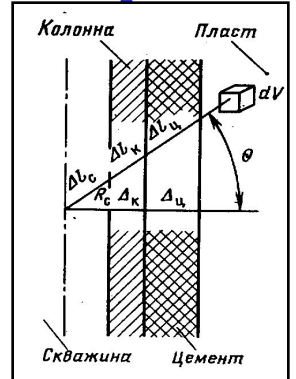
Плотность $\Phi_{плj}$ пропорциональна коэффициенту $G(\Delta)$, который зависит от геометрии системы, коэффициентов μ_{uj} , μ_{kj} , μ_{cj} и характеризует вклад данной области в регистрируемый сигнал. По существу $G(\Delta)$ – аналог геометрического фактора. Для кусочно-однородной среды, содержащей K областей с j -м ЕРЭ



$$\sum_{i=1}^K G_{ij} = 1$$

Решение прямой задачи ГК. Геометрический фактор.

Введя геометрические факторы колонны G_{jk} , цемента $G_{jц}$, скважины G_{jc} , пласта $G_{jнл} = G(\Delta)$, и переходя к показаниям прибора, для среды, содержащей смесь **ЕРЭ**, запишем:



$$I_{\gamma} = C_U \left(\sum_j q_{jнл} eU_j G_{jнл} + \sum_j q_{jc} eU_j G_{jc} + \sum_j q_{jk} eU_j G_{jk} + \sum_j q_{jц} eU_j G_{jц} \right).$$

Геометрические факторы областей мало зависят от типа **ЕРЭ**. Поэтому уравнение при однородной промежуточной зоне

$$I_{\gamma} = G_{нл} C_U \sum_j q_{jнл} eU_j + (1 - G_{нл}) C_U \sum_j q_{jнл} eU_j,$$

$\sum_j q_{jнл} eU_j$ - суммарная массовая удельная концентрация **ЕРЭ** в скважине, цементе и колонне.

*

$$I_{\gamma} = C_U \sum_j q_j eU_j$$

Решение прямой задачи ГК. Пласт конечной мощности

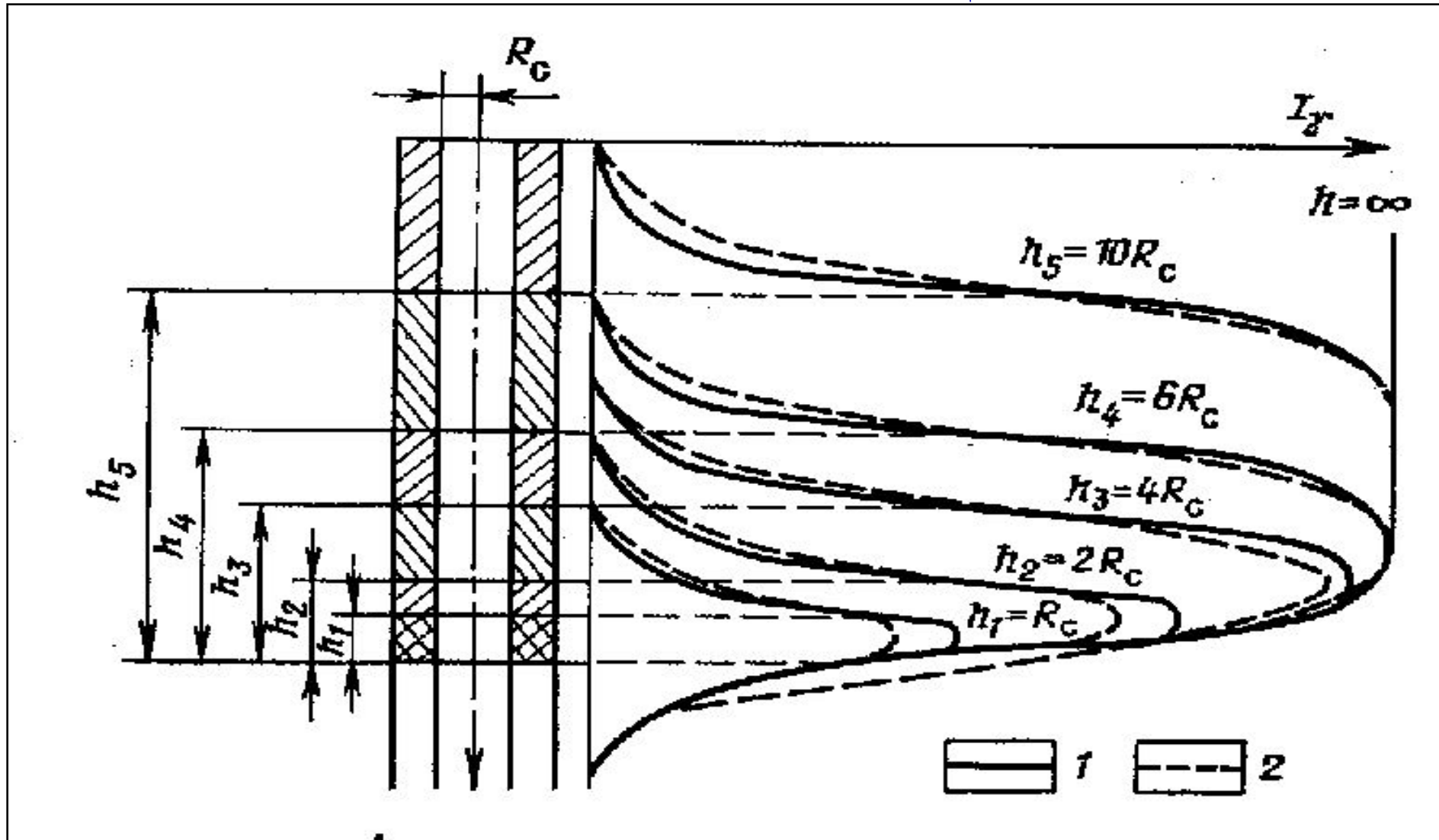
Пласт конечной мощности, пересеченный необсаженной скважиной, вызывает приращение плотности потока

$$\Delta\Phi = \Phi_{пл} - \Phi_{вм},$$

где $\Phi_{вм}$ — плотность потока излучения во вмещающих породах. Если параметры B , $\mu_{жс}$ и G против пласта и вмещающих пород практически равны, то $\Delta\Phi$ равно плотности потока при массовой активности $\Delta a = a_{пл} - a_{вм}$, где $a_{вм}$ — удельная объемная активность вмещающих пород.

Подставив в вышеприведенные формулы Δa , получим выражение для $\Delta\Phi_{пл}$, позволяющее рассчитать диаграммы $ГК$ против пласта с заданными параметрами, для случая для $v\tau_{я} = 0$.

Решение прямой задачи ГК. Диаграммы ГК против пластов конечной мощности.



Детекторы: 1 – точечный, 2 – длиной $2R_c=30 \text{ см}$; $\mu_{пл}=0,1 \text{ см}^{-1}$;
 $\delta_{пл}=3 \text{ г/см}^3$

Спектрометрический гамма-каротаж. СГК

Первичный спектр естественного гамма-излучения пород дает представления о распределении его интенсивности по энергиям. Этот спектр содержит характерные максимумы, соответствующие энергиям определенных ЕРЭ.

Аппаратурный спектр гамма-излучения породы отмечает максимумы первичного спектра, соответствующие энергиям **0,6 и 1,8 МэВ для радия (урана); 0,9; 1,6 и 2,6 МэВ для тория; 1,46 МэВ для калия.**

Дифференциальный спектр характеризует интенсивность I_γ естественного гамма-излучения в заданном диапазоне энергии ΔE , причем каждый диапазон исследуется отдельным каналом.

Спектрометрический гамма-каротаж. СГК

Для определения удельных массовых концентраций q_U , q_{Th} , q_K по интенсивностям $I_{\gamma 1}$, $I_{\gamma 2}$, $I_{\gamma 3}$, зарегистрированным первым, вторым и третьим каналами, решают систему уравнений:

$$I_{\gamma 1} = a_{u1}q_U + a_{Th1}q_{Th} + a_{k1}q_K;$$

$$I_{\gamma 2} = a_{U2}q_U + a_{Th2}q_{Th} + a_{K2}q_K;$$

$$I_{\gamma 3} = a_{U3}q_U + a_{Th3}q_{Th} + a_{K3}q_K.$$

Коэффициенты a_U, a_{Th}, a_K в уравнениях, для конкретного радиометра, определяют путем эталонирования прибора.

Спектрометрический гамма-каротаж. Задачи

С помощью СГК решают задачи:

1. **Детальное литологическое расчленение разрезов**, представленных терригенными, карбонатными, вулканогенно-обломочными, магматическими породами.
2. **Выделение в плотных карбонатных породах зон трещиноватости** по интервалам повышенного содержания урана при низком содержании тория и калия. И показаниям других методов ГИС на отсутствие глинистого материала.
3. **Определение минерального состава глинистых пород** по отношению Th/K .
4. **Оценка ресурсов органического углерода** в битуминозных глинистых нефтематеринских толщах.
5. **Контроль перемещения ВНК**, разделение продуктивного коллектора на участки заводненнные и не охваченные разработкой.