



**ПЕТРОФИЗИКА**  
**(ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИЯ № 9)**  
**ЕСТЕСТВЕННАЯ**  
**РАДИОАКТИВНОСТЬ**

Лектор: доцент Дахнов А.В.  
Кафедра исследования нефтегазовых пластовых  
систем

# ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

Естественная радиоактивность –

свойство веществ создавать радиоактивное излучение в связи с самопроизвольной перестройкой ядер их радиоактивных элементов. При этом выделяется энергия и возникают более устойчивые или новые радиоактивные элементы. Ядра последних снова распадаются до тех пор пока не образуется устойчивый изотоп.

# ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

## ИЗУЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРОВОДЯТ С ЦЕЛЮЮ:

- 1) УСТАНОВЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ ГАММА-АКТИВНОСТИ ЛИТОЛОГИЧЕСКИ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД
- 2) ВЫЯСНЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ГАММА-АКТИВНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛИНИСТОСТИ
- 3) РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ПОРОД (ЛИТОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ)
- 4) ВЫЯСНЕНИЕ СВЯЗЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ФАЦИАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ПОРОД
- 5) И ДР.

# ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

В.И.Вернадский: «Открытие явления радиоактивности , по существу, было не только открытием физическим, но и открытием геологическим...»

Типы  
распада

Альфа-  
распад

Бета-  
распад

Изомерный  
переход  
 $\gamma$ - излучение

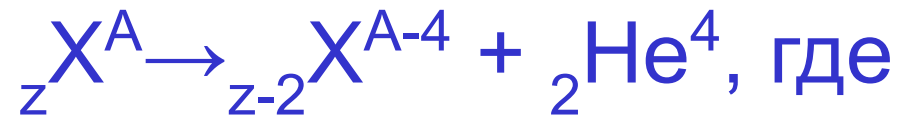
Деление  
ядер на  
части

# ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

## Альфа-распад

с выбросом  **$\alpha$** -частиц ( ${}_2\text{He}^4$ )

по схеме



X - элемент; A – относительная атомная масса; Z – номер элемента

# ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

## Бета – распад

а) – превращение нейтрона  ${}_0n^1$  в протон  ${}_1H^1$



электрон  ${}_{-1}\beta^0$  и нейтрино  ${}_0\nu^0$  выбрасываются из ядра и возникает **новый элемент с  $Z+1$**  или

б) – превращение протона в нейтрон



позитрон  ${}_{+1}\beta^0$  и нейтрино  ${}_0\nu^0$  выбрасываются из ядра и возникает **новый элемент с  $Z-1$**

# Свойства радиоактивных частиц

## Альфа-частицы (ядра гелия)

- 1) Заряд – 2
- 2) Начальная скорость  $(1,42-2,054) \times 10^7$  м/с
- 3) Первоначальная энергия 2 – 8 Мэв
- 4) Ионизирующая способность – до 200000 пар ионов
- 5) Прямолинейный пробег – 19.1-42.7 мкм

# Свойства радиоактивных частиц

## Бета-лучи - поток электронов (позитронов)

- 1) Масса – 0,00054 аед (атомная единица массы)
- 2) Заряд – 1 элементарный заряд
- 3) Скорость – от 0 до скорости света
- 4) Длина пробега значительно больше, чем у  $\alpha$ -частиц
- 5) Ионизирующая способность 1 $\beta$ -частица – 50 пар ионов на 0,01 м

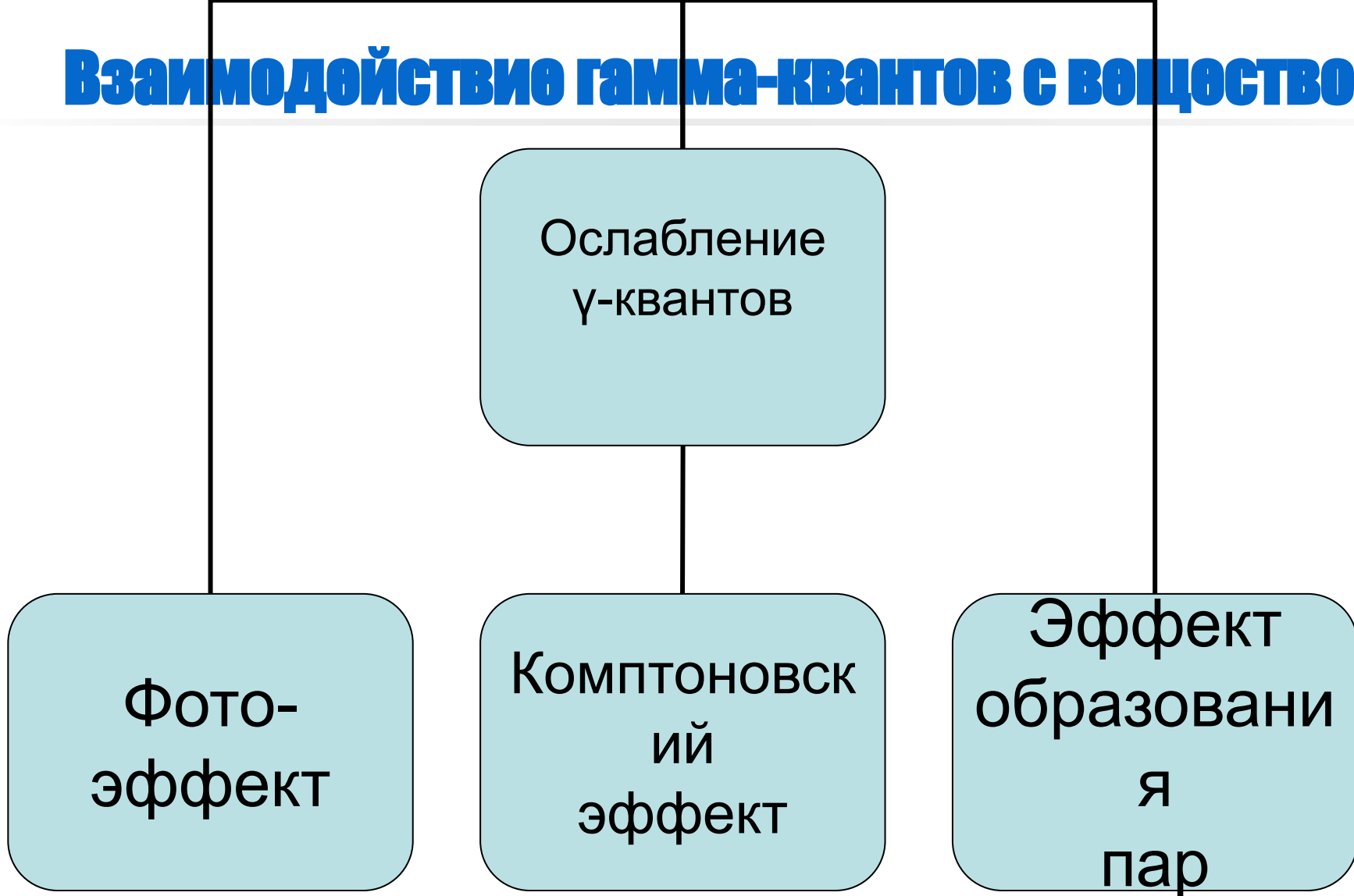


# Свойства радиоактивных частиц

## Гамма-лучи (ультракороткое электромагнитное излучение)

- 1) Длина волны ( $\lambda$ );
- 2) Масса кванта  $m = h\nu/c^2 = hc/\lambda$ , где  $h$  – постоянная Планка,  $c$  - скорость света,  $\nu$ - частота испускания  $\gamma$ -квантов; масса меньше, чем у  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц;
- 3) Энергия  $E_\gamma = h\nu$  (0,05 до 3Мэв);
- 4) Проникающая способность – значительно больше, чем у  $\beta$ -частиц (нет взаимодействия с электрическим полем других заряженных частиц)

# Взаимодействие гамма-квантов с веществом



# Взаимодействие гамма-квантов с веществом

## Закон радиоактивного распада

$$dN/dt = - \lambda N, \text{ где}$$

$dN$  — число распадающихся ядер из общего количества  $N$  за время  $dt$ ;  $\lambda$  — постоянная распада;

$A = \lambda N$  — **активность** (число распадов в сек)

$T_{1/2}$  — период полураспада

$$T_{1/2} = 0,693/\lambda$$

# Взаимодействие гамма-квантов с веществом

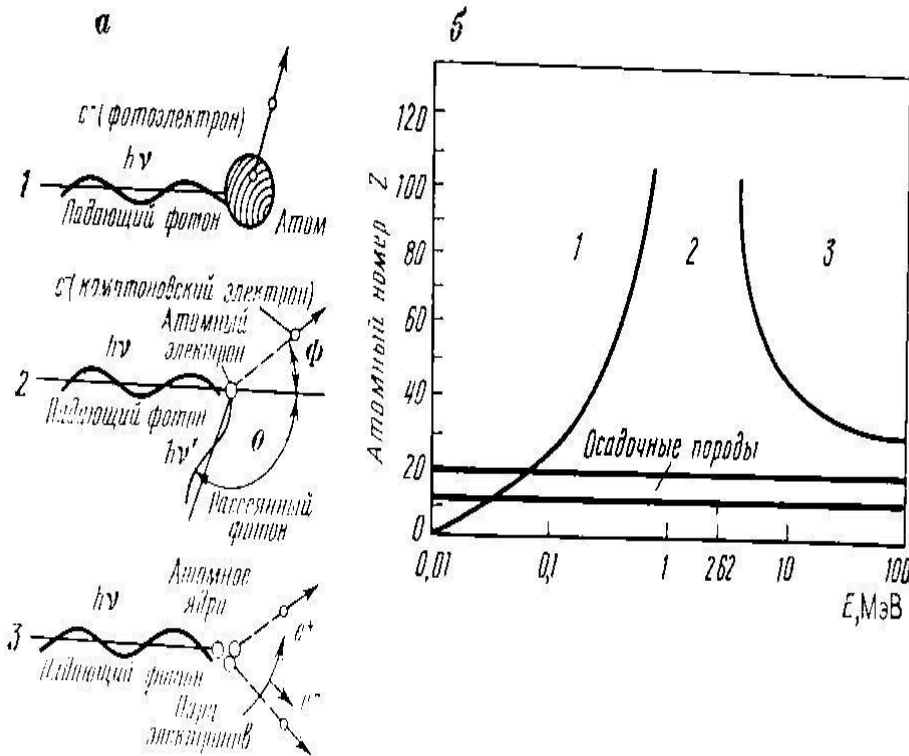
## Ослабление гамма-квантов в веществе

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где  $I_0, I$  – интенсивность исходного гамма-излучения до и после прохождения слоя породы толщиной  $x$ ;

$\mu$  – суммарный коэффициент ослабления =  $\tau + \sigma + \kappa$

# Взаимодействие гамма-квантов с веществом



Основные типы взаимодействия гамма-излучения с веществом (а) и диапазоны энергий и атомных номеров, в которых они проявляются (б)

1-фотоэффект; 2-комptonовское рассеяние; 3-эффект образования электрон-позитронных пар

## Фотоэффект ( $\tau$ )

(взаимодействие  $\gamma$ -лучей с электронной оболочкой другого атома)

$$E_{\beta} = h\nu - E_{o'}$$

где  $E_{o'}$  – энергия связи электрона в атоме,  
 $h\nu$  – энергия падающего гамма-кванта  
(процесс возможен при

$$h\nu \leq 0,5\text{МэВ})$$

## Фотоэффект ( $\tau$ )

Ослабление интенсивности  $\gamma$ -излучения

$$-dI = \tau I dx,$$

где  $dx$  — толщина слоя породы,  $T$  — полный коэффициент поглощения за счет фотоэффекта.

$$T = a(1/h\nu)^{2,8} Z^4 (\delta_{\pi} N_A / A),$$

где  $a$  — постоянная величина;  $Z$  — порядковый номер элемента;  $\delta_{\pi}$  — плотность поглощающей породы;  $N_A$  — постоянная Авогадро;  $A$  — относительная атомная масса. Роль  $Z$  и  $h\nu$ !

# Взаимодействие гамма-квантов с веществом

## Комптоновский эффект ( $\sigma$ )

( взаимодействие  $\gamma$ -лучей с электроном)

$$h\nu = 0,2-3,0 \text{ МэВ}$$

$$\sigma = \sigma_e \delta_{\text{п}} N_A Z/A,$$

где  $\sigma_e$  — коэффициент ослабления, рассчитанный на один электрон;

$\delta_{\text{п}} N_A Z/A$  — число электронов в единице объема породы;  $Z/A \sim \text{const}$  и  $\sigma$  пропорционален  $\delta_{\text{п}}$



# Взаимодействие гамма-квантов с веществом

Образование электрон-позитронных пар

$$h\nu \geq 1.02 \text{ МэВ}$$

Ослабление определяется  $\kappa$

# Радиоактивность элементов и минералов

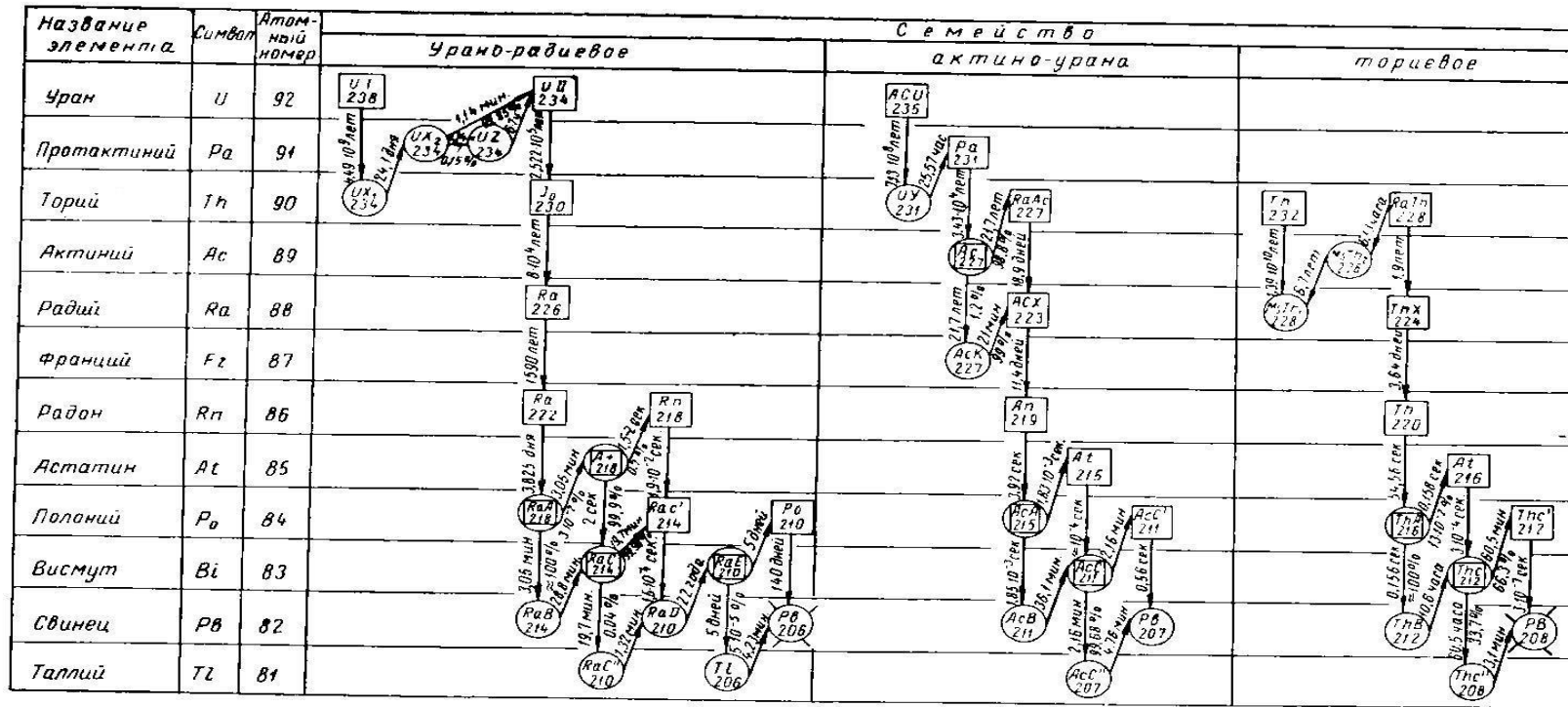


Рис. 169. Радиоактивные семейства.  
 1 — α-излучатели; 2 — β-излучатели; 3 — β- и α-излучатели; 4 — устойчивый изотоп.

# Радиоактивность элементов и минералов

1 Ки -  $3.7 \times 10^{10}$  распадов в 1 с  
( 1 г Ra)

1 Бк =  $0,27 \times 10^{-10}$  Ки

Удельная массовая радиоактивность  
(Бк/кг)

Удельная объемная радиоактивность  
(Бк/м<sup>3</sup>)

# Радиоактивность элементов и минералов

## Внесистемные единицы

- 1) Удельная массовая  $\gamma$ -активность  
мг-экв Ra/г (кг-экв Ra/кг) $\times 10^{-12}$
- 2) Удельная объемная  $\gamma$ -активность  
мг-экв Ra/см<sup>3</sup> (кг-экв Ra/м<sup>3</sup>) $\times 10^{-9}$

# Радиоактивность элементов и минералов

Единицы измерения радиоактивности и ионизирующих излучений

Величина	СИ		Внесистемные единицы		
	Единица измерения	Сокращенное обозначение	Единица измерения	Сокращенное обозначение	Коэффициент перевода в единицы СИ
Активность нуклида в радиоактивном источнике	беккерель	Бк	кюри эман	Ки эман	$3,700 \cdot 10^{10}$ Бк $3,7 \cdot 10^3$ м <sup>-3</sup> ·с <sup>-1</sup>
Плотность потока ионизирующих частиц или квантов	частица (квант) в секунду на квадратный метр	частица (квант)/ (с·м <sup>2</sup> )	—	—	—
Интенсивность излучения	ватт на квадратный метр	Вт/м <sup>2</sup>	—	—	—
Поглощенная доза излучения (доза излучения)	грэй	Гр	рад	рад	$10^{-2}$
Мощность поглощенной дозы излучения (мощность дозы излучения)	грэй в секунду	Гр/с	рад в секунду	рад/с	$10^{-2}$
Экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения	кулон на килограмм	Кл/кг	рентген	Р	$2,58 \cdot 10^{-4}$
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения	ампер на килограмм	А/кг	рентген в секунду рентген в час микрорентген в час	Р/с Р/ч мкР/ч	$2,58 \cdot 10^{-4}$ $7,19 \cdot 10^{-5}$ $0,0717 \cdot 10^{-12}$

# Радиоактивность горных пород

Определяется содержанием:

Кларки

$$U^{238} - 2,1 \times 10^{-4} \%$$

$$Th^{232} - 7,0 \times 10^{-4} \%$$

$$K^{40} - 1,8 \%$$

# Радиоактивность горных пород

**Калий** имеет три изотопа:  $K^{39}$ ,  $K^{40}$ ,  $K^{41}$

Содержание: 93,1;0,02;6,88%

Гамма-излучение с энергией 1,46 МэВ

Сильвин (KCl);

Калиевая селитра ( $KNO^3$ )

Карналлит, полевые шпаты, микроклин,  
ортоклаз, слюды и др.

# Радиоактивность горных пород

Уран имеет три изотопа  $U^{234}$ ,  $U^{235}$ ,  $U^{238}$

Содержание:  $5,7 \times 10^{-3}\%$ ; 0,82 и 99,27%

$T_{1/2} = 2,5 \times 10^5$ ;  $7,1 \times 10^8$  и  $4,4 \times 10^9$  лет.

Средняя распространенность:  $3 \times 10^{-4}\%$



# Радиоактивность горных пород

**Торий** имеет один долгоживущий изотоп



Распространенность:  $1,2 \times 10^{-3}\%$

# Радиоактивность горных пород

Подразделение минералов по радиоактивности

**1 – слаборадиоактивные** (кварц, калиевые полевые шпаты, кальцит, доломит, ангидрит, каменная соль и др.)

**2 – слабоповышенной радиоактивности**  
(биотит, амфиболы, пироксены и др.)

**3 – повышенной радиоактивности**  
(апатит, флюорит, ильменит, магнетит и др.)

**4 – высокой радиоактивности**  
(сфен, монацит, циркон и др.)

# Радиоактивность горных пород

## Магматические г. породы

(по спаду радиоактивности):

Кислые

Средние

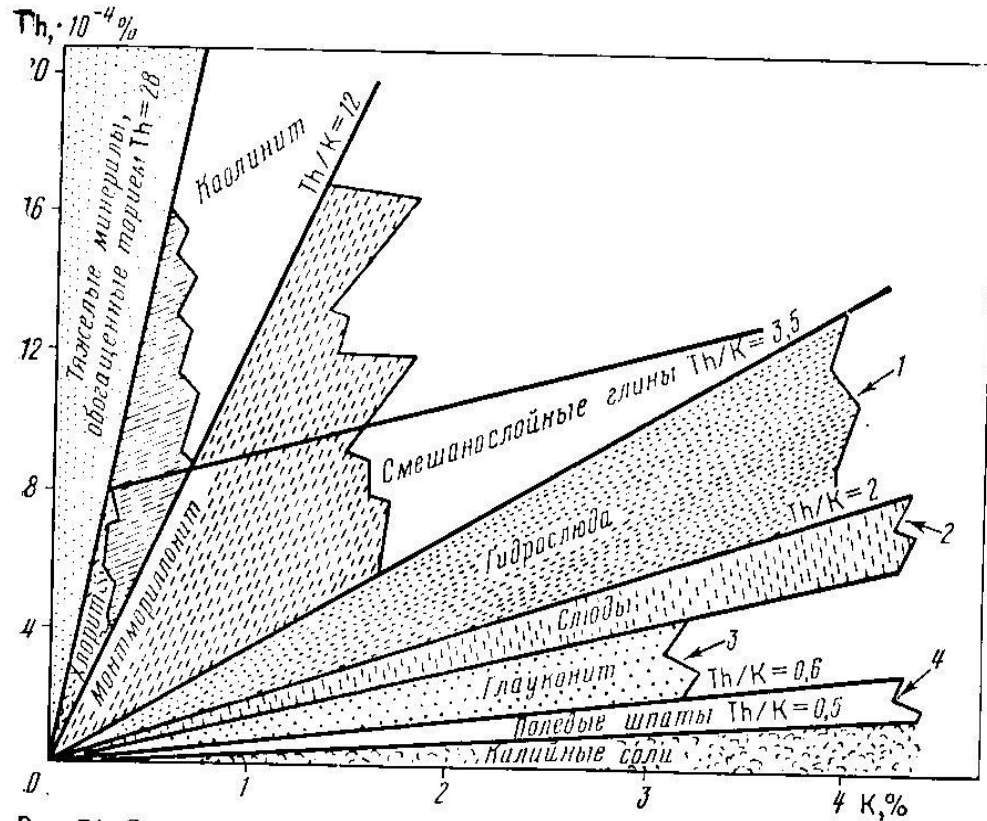
Основные

Ультраосновные

# Радиоактивность горных пород

Окна	Энергия, МэВ	Изотоп	Продукт распада
1 (K) Ширина окна 1.36-1.56 МэВ	1,461	$K^{40}$	K
2 (U) Ширина окна 1.67-1.87 МэВ	1.765	$Bi^{214}$	U
3 (Th) Ширина окна 2.05-2.85 МэВ	2.614	$Ti^{208}$	Th

# Радиоактивность горных пород



Сопоставление массовых содержаний тория и калия для идентификации глинистых минералов

1 - 70%-го содержания гидрослюда; 2 – 40%-го содержания слюд; 3 – 80%-го содержания глауконита;

4 – 30%-го содержания полевых шпатов

# Радиоактивность флюидов

## Жидкая фаза

**Вода** – до 1 км может достигать  $10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>

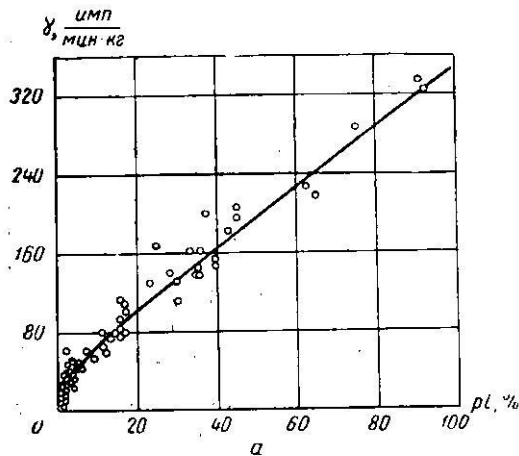
Свыше 1 км –  $10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>

Концентрация изотопов радия повышается с приближением к контурам нефтеносности

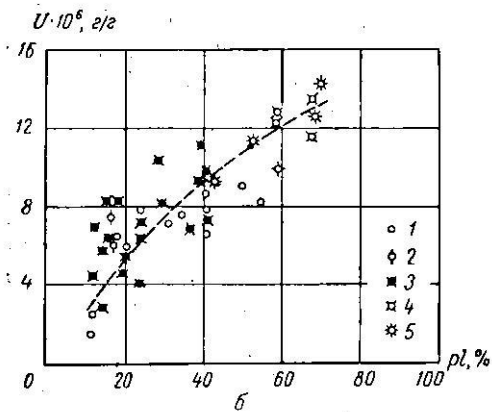
**Нефть** – содержание U  $6 \times 10^{-9}$  –  $1,2 \times 10^{-7}$ %  
(асфальтены, спирто-бензольные смолы)

**Газовая фаза** – вклад в радиоактивность очень мал

# Петрофизические связи



Зависимость гамма-активности (а) и содержания урана (б) от глинистости для песчано-глинистых пород.



1 - песок, 2 – песчаник, 3 – песок глинистый и песчаник каолинитизированный, 4 – глина, 5 – глина песчаная

# Вопросы для самоконтроля

1. Типы взаимодействия гамма-квантов в горных породах.
2. Физический смысл закона радиоактивного распада.
3. Связь гамма-активности с другими петрофизическими характеристиками горных пород.
4. Спектральная характеристика гамма-активности горных пород.
5. Физическая сущность определения плотности горных пород по вторичному гамма-излучению





**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

internet: [www.vniigaz.ru](http://www.vniigaz.ru)  
intranet: [www.vniigaz.gazprom.ru](http://www.vniigaz.gazprom.ru)  
e-mail: [vniigaz@vniigaz.gazprom.ru](mailto:vniigaz@vniigaz.gazprom.ru)  
телефон: (+7 495) 355-92-06  
факс: (+7 495) 399-32-63