

# ЯДЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА

Бакалавриат 2 курс

# Ядерная геофизика

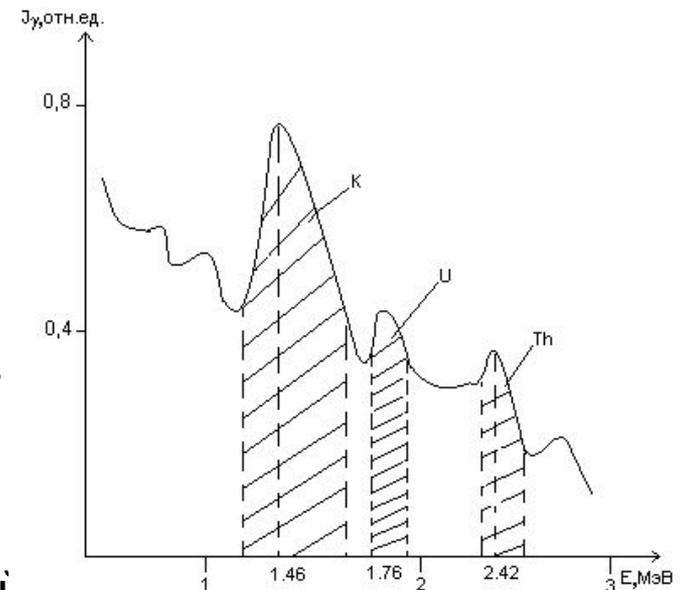
- ▣ **Ядерная геофизика** – раздел разведочной геофизики, основанный на изучении распределения в земной коре естественных и искусственно созданных радиационных полей, изучаемых двумя основными группами методов: а) радиометрическими, основанными на измерении естественных  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$  - излучений горных пород и обусловленных кларковыми или аномальными содержаниями в них радионуклидов, или концентрацией изотопов радона в почвенном воздухе, б) ядерно-физическими, предусматривающими поэлементный анализ горных пород путем изучения вызванной радиоактивности.

# Естественная радиоактивность

- Поле ионизирующих излучений (**естественной радиоактивности**) присуще Земле, как космическому объекту, и складывается из: 1) космического излучения, 2) радиоактивного распада элементов земной коры, 3) дегазации радиоактивных газов, выходящих на поверхность (радон Rn, торий Th). В результате на дневной поверхности формируется **радиационный фон**. В этом фоне доля космического излучения около 50% и составляет 3-6 мкР. С увеличением высоты космический радиационный фон возрастает в среднем на 1,5 мкР на каждый километр отметки рельефа местности. Остальная доля радиационного фона приходится на естественную радиоактивность горных пород. При этом, радиоактивность этих пород неодинакова. Средними (нормальными) по радиоактивности считаются природные объекты, в которых кларковое содержание не превышает 2,5 (2,5 г/т). Повышенная радиоактивность обуславливается наличием урана с соответствующим образованием радиоактивных газов (радона и тория). Тысячная доля содержания урана в общей массе создает радиоактивность в 5 мкР/час. Радиоактивный фон повышается и в участках земной коры, содержащих кроме урана и тория, калий, концентрация которого в земной коре превышает более чем в 2000 раз концентрацию тория и более чем в 10000 раз концентрацию урана.

# Спектр естественного гамма-излучения

- Радиоактивному распаду подвергается достаточно большое количество химических элементов, в основном с порядковым номером в таблице Менделеева большим 82. Известно более 230 радиоактивных изотопов (ядра атомов различным числом нейтронов). Однако основной вклад в естественную радиоактивность вносят три радиоактивных элемента уран (U), торий (Th) и калий (K). Они находятся в горных породах и других природных объектах в виде изоморфных примесей и самостоятельных минералов. Их вклад следующий: K 60%, U 30%, Th 10%. Интенсивность естественного излучения ( $J_\gamma$ ) наибольшая у K и наименьшая у Th. Излучение происходит при различных энергиях



**Спектр естественного гамма-излучения**

# Закон радиоактивного распада

- Закон радиоактивного распада выражается формулой:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda * N \quad , \text{ где}$$

$dN$  – число распадающихся ядер из общего количества  $N$  за время  $dt$ ,  $\lambda$  - постоянная распада. связана с другой единицей  $T_{1/2}$  – периодом полураспада соотношением:

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

# Закон радиоактивного распада

- Закон радиоактивного распада описывает последовательное превращение одних элементов в другие и заканчивается образованием устойчивых нерадиоактивных изотопов. Основными являются ряды U и Th. Они включают до 15–18 изотопов. Конечный продукт – радиогенный свинец.
- Родоначальники радиоактивных семейств (U, Th) относятся к долгоживущим элементам. У них  $T_{1/2} > 10^8$  лет. В состав семейств урана входят радий (Ra) с  $T_{1/2} = 1620$  лет и радиоактивный газ радон (Rn) с  $T_{1/2} = 3,82$  суток.

# Наведенная (искусственная) радиоактивность

- *Наведенная (искусственная) радиоактивность* преимущественно связана с гамма- и нейтронным излучением.
- $\gamma$ -кванты – электронейтральные частицы, имеющие более высокую проникающую способность, нежели заряженные  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы. Они представляют собой поток электромагнитного излучения очень высокой частоты ( $f > 10^{18}$  Гц). Проникающая способность  $\gamma$ -квантов в воздухе достигает нескольких сотен метров. В природных объектах  $\gamma$ -излучение резко ослабляется вследствие процессов фотоэффекта, комптон-эффекта, образования электрон-позитронных пар. Перечисленные процессы происходят при различных энергиях.

# Нейтронное излучение

- *Нейтронное излучение* – возникает при ядерных реакциях. Нейтроны являются электронейтральными частицами и обладают, наибольшей проникающей способностью из всех видов излучений. Нейтроны возникают при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с ядрами легких элементов (бериллий, бор и др.)
- Нейтроны по энергетическому спектру ( $E = 10^7 - 10^{-3}$  эВ) разделяются на группы: быстрые промежуточные медленные резонансные надтепловые тепловые холодные.

# Характеристика радиационного поля Земли

- Поле ионизирующих излучений (поле естественной радиоактивности) присуще Земле, как космическому объекту. Его проявление на поверхности Земли играет в экологии большую роль.
- Суммарное радиационное поле Земли складывается из:
  - 1) космического излучения;
  - 2) радиоактивного распада элементов земной коры;
  - 3) дегазации вследствие выхода на поверхность радиоактивных газов (радон  $Rn$ , торон  $Tn$ ).

# Радиоактивность пород

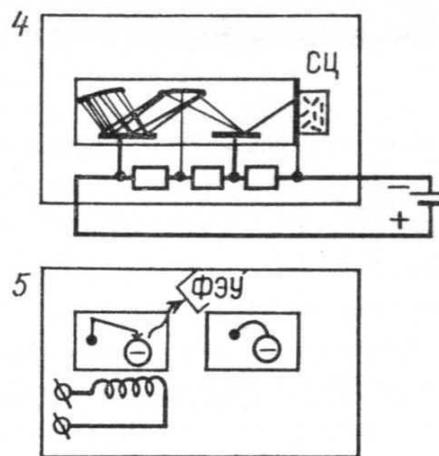
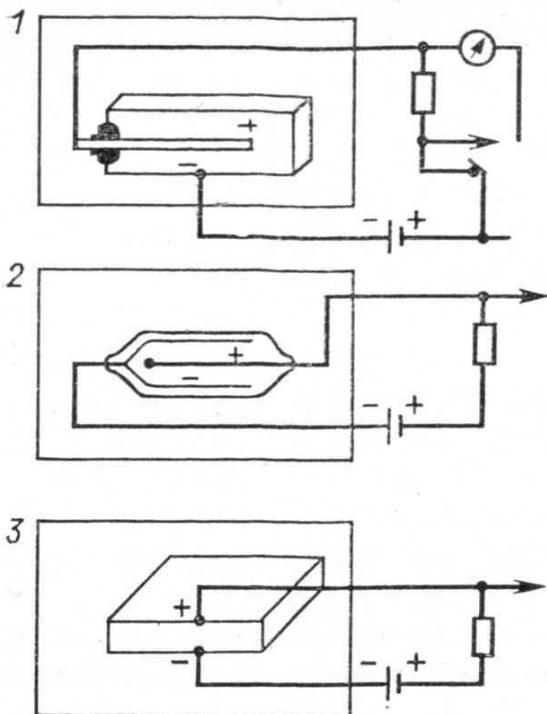
- Наиболее радиоактивными породами являются граниты, гнейсы, вулканические туфы, фосфориты. Содержание урана и тория здесь достигает до 100 кларков и более. Повышенная радиоактивность проявляется и в зонах тектонических нарушений, особенно в крупных разломах. Это связано с эманированием радона.

# Единицы измерения радиоактивности

- Беккерель (Бк),  $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$  – системная единица,
- Кюри (Ки) - внесистемная единица, где  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ ,
- Микрорентген в час (мкр/час) - внесистемная единица
- Широко известная внесистемная единица **рентген** (Р, R) служит для определения экспозиционной дозы. Один рентген соответствует дозе рентгеновского или гамма-излучения, при которой в  $1 \text{ см}^3$  воздуха образуется  $2 \cdot 10^9$  пар ионов

# Аппаратура для ядерно-геофизических исследований

- В аппаратуре для ядерно-геофизических исследований в качестве чувствительных элементов используют ионизационные камеры, счетчики Гейгера - Мюллера, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, термолюминесцентные кристаллы



- 1 — ионизационная камера;
- 2 — счетчик Гейгера — Мюллера;
- 3 — полупроводниковый кристалл;
- 4 — сцинтилляционный счетчик;
- 5 — термолюминесцентный кристалл;
- СЦ — сцинтиллятор;
- ФЭУ — фотоэлектронный умножитель

# Методы радиометрии

- К методам радиометрии относятся воздушная, автомобильная, пешеходная (поверхностная), глубинная (шпуровая) гамма-съемки, радиометрический анализ проб горных пород, эманационная съемка, а также методы опробования, предназначенные для оценки концентрации радиоактивных элементов в обнажениях и горных выработках. В горных выработках изучают также жесткую компоненту космического излучения.

# Ядерно-физические методы разведки

**Ядерно-физические (радиоизотопные) методы** используются для изучения образцов горных пород, стенок горных выработок, скважин и обнажений посредством их облучения **гамма-квантами** или **нейтронами**. Облучать можно также с помощью специальных генераторов нейтронов. Для получения гамма-квантов или нейтронов разных энергий их помещают в экраны-замедлители (свинцовые — для гамма-излучений, кадмиевые или парафиновые — для нейтронов). Меняя источники облучения, их энергию, длительность облучения, изучая разные ядерные реакции источников облучения с электронами и ядрами атомов облучаемых горных пород и руд, можно получить информацию о их химическом составе, физико-механических свойствах, степени насыщенности пород разными флюидами (нефть, вода).