

Специальность 6В07201 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»  
Дисциплина «Радиоактивные методы исследования»

## Лекция

# Физические основы гамма каротажа

Лектор: Пак Ю.Н.  
д.т.н., проф. каф. ГРМПИ



## План лекции:

1. Общие сведения
2. Радиометрическая съемка
3. Гамма-каротаж
4. Опыт применения ГК

## Общие сведения

Данные о естественной радиоактивности горных пород и содержании радиоактивных элементов несут информацию о типе горных пород, условиях их образования и последующего изменения.

Для многих полезных ископаемых наблюдается генетические или парагенетические связи с радиоактивными элементами.

Это дает возможность решать геологические задачи: литологическое расчленение горных пород, геологическое картирование, поиски и разведка полезных ископаемых.

Сравнительная простота обнаружения радиоактивных элементов в породах радиометрическими методами даже при содержаниях, сопоставимых с кларками, экспрессность, производительность и низкая трудоемкость в сравнении с традиционными геологическими исследованиями обуславливают применение методов радиометрии для решения комплекса геолого-геофизических задач.

Для определения концентрации естественных радиоактивных элементов в горных породах при поисково-разведочных работах применяются химические, радиохимические, рентгеноспектральные и радиометрические методы анализа.

Химические методы анализа, обладая достаточно высокой точностью, малопроизводительны и характеризуются значительной трудоемкостью. Для массового анализа они применяются редко и используются в качестве эталонного метода.

Радиохимические методы, предусматривающие предварительную химическую обработку образцов для концентрирования определяемых элементов, представляют комбинацию радиометрического и химического анализов. Такая комбинация способствует повышению чувствительности, точности и селективного анализа.

Радиохимический метод обычно используется для определения продуктов распада урана или тория, например радия и его изотопов.

Радиометрический способ стал основным при определении содержания радиоактивных элементов. Наибольшее применение он получил как экспрессный инструментальный метод определения урана и тория в процессе поисково-разведочных работ и разработке и добычи радиоактивных руд.

Методам радиометрии свойственны достаточная точность, не уступающая химическому анализу, и высокая производительность.

Радиометрические методы в целом реализуются путем регистрации альфа, бета и гамма-излучений. Ввиду высокой проникающей способности гамма-излучения наибольшее применение находит гамма-метод.

В условиях нарушенного радиоактивного равновесия задача отдельного определения содержания элементов разных радиоактивных семейств при их совместном присутствии в породах решается применением комплекса радиометрических измерений, например гамма и бета излучений или же гамма-спектрометрических.

Радиометрические методы исследования в условиях естественного залегания можно разделить на два направления:

- полевые радиометрические методы (радиометрическая съемка), применяемые для оценки естественной радиоактивности горных пород по заданному маршруту и профилю;
- радиометрическое опробование для более точного определения радиоактивности горных пород в обнажениях, шурфах, скважинах и т.п.

В основу радиометрических методов положено обнаружение различных поисковых признаков в виде коренных выходов руд и ореолов рассеяния вокруг рудных тел. Много месторождений открыты по ореолам рассеяния.

Различают открытые ореолы, выходящие на дневную поверхность, и закрытые, развивающиеся лишь на некоторой глубине от поверхности.

По генетическим признакам различают первичные (эндогенные) ореолы, возникшие одновременно с формированием рудного тела и вторичные ореолы, образовавшиеся при разрушении или преобразовании руд.

Гамма-съемки по интегральному гамма-излучению позволяют получить только качественную характеристику гамма-полей, отражающих распределение суммы природных радиоактивных элементов.

Спектрометрическая гамма-съемка дает представление о распределении элементов уранового и ториевого рядов и калия.

При любой гамма-съемке измеряют гамма-поля и выделяют в них аномалии. Затем из числа выявленных аномалий отбирают те, которые связаны с радиоактивными рудными телами или с их ореолами.



Средние содержания U, Th и K в породах

Порода	U, n·10 <sup>-4</sup> %	Th, n·10 <sup>-4</sup> %	K, %	Th/U
<b>Магматические породы</b>				
Кислые породы (граниты, гранодиориты; реже – липариты, риолиты)	3,5	18,0	3,34	5,1
Средние породы (диориты, андезиты; реже – сиениты)	1,8	7,0	2,31	4,0
Основные породы (базальты, габбро; реже – диабазы и нориты)	0,5	3,0	0,83	6,0
Ультраосновные породы (дуниты; реже – перидотиты и пироксениты)	0,003	0,005	0,03	1,7
<b>Осадочные породы</b>				
Сланцы и глины	4,0	11,0	3,2	2,8
Песчаники	3,0	10,0	1,2	3,3
Известняки	1,4	1,8	0,3	1,3
Осадки выпаривания (галит, ангидрит, гипс)	0,1	0,4	0,1	4,0



## Радиометрическая съемка

**Пешеходная гамма-съемка** является одним из универсальных методов поисков. Широкое применение метода обусловлено высокой производительностью, достаточной чувствительностью, портативностью применяемой аппаратуры. В зависимости от задач и частоты наблюдений выделяют рекогносцировочную, маршрутную и площадную гамма-съемки.

В процессе гамма-съемки измеряют интенсивность естественного гамма-излучения в точках, расположенных по заданному маршруту или профилю. Наиболее благоприятными для эффективного применения радиометрической гамма-съемки являются обнаженные участки с развитой сетью открытых ореолов механического и солевого рассеяния.

При выявлении точек с гамма-аномалией проводятся более тщательное исследование участка. Определяются дополнительные профили, маршруты. На поисковом этапе параллельно с гамма-съемкой проводятся геологические исследования: отбор образцов пород, донных остатков, воды, растений.

Разновидностью пешеходной гамма-съемки является шпуровая гамма-съемка. Ее проводят на участках, где рудные тела или их ореолы перекрыты рыхлыми отложениями мощностью до нескольких метров и недоступны для пешеходной гамма-съемки. Интенсивность гамма-излучения измеряют каротажным или шпуровым вариантами радиометров.

Представительность радиометрической съемки зависит от глубинности гамма-метода. Известен подход к ее оценке, когда за глубинность принимают мощность наносов, ослабляющую интенсивность излучения в 20 раз.

В другом подходе за глубинность принимают мощность наносов, при которой интенсивность излучения в 3 раза превышает флуктуации излучения нормального гамма-поля.

Спектрометрический вариант гамма-съемки применяется для отдельного определения концентрации урана, тория и калия в горных породах и рудах. Гамма-спектрометрическая съемка заключается в измерении гамма-полей в определенных энергетических интервалах, характерных для указанных радиоактивных элементов: U–1,67-1,87 МэВ; Th–2,05-2,85 МэВ; K–1,36-1,56 МэВ. Раздельное определение содержания указанных элементов сводится к решению системы уравнений с тремя неизвестными

$$N_1 = a_1 \cdot m_U + b_1 \cdot m_{Th} + c_1 \cdot m_K,$$

$$N_2 = a_2 \cdot m_U + b_2 \cdot m_{Th} + c_2 \cdot m_K,$$

$$N_3 = a_3 \cdot m_U + b_3 \cdot m_{Th} + c_3 \cdot m_K,$$

где  $N_1, N_2, N_3$  – измеренные интенсивности гамма-излучения в выбранных энергетических интервалах;

$m_U, m_{Th}, m_K$  – содержание урана, тория и калия в точке измерений;

$a_1$ - $a_3$ ;  $b_1$ - $b_3$ ;  $c_1$ - $c_3$  – пересчетные константы, определяемые на моделях с известными содержаниями  $U, Th$  и  $K$ .

Достаточная точность количественного анализа урана, тория и калия может быть обеспечена при использовании высокопрецизионного гамма-спектрометра с хорошими метрологическими характеристиками и точном определении пересчетных коэффициентов в процессе моделирования стандартных образцов.

**Эманационная съемка.** Разновидностью радиометрических методов является эманационная съемка. Теория эманационного метода разработана В.И. Барановым, А.Г. Граммаковым и Ю.П. Булашевичем.

Физическая сущность метода основана на изучении распределения радиоактивных эманаций в горных породах путем отбора подпочвенного воздуха. Под эманированием понимают процесс выделения в поры и внешнее пространство свободной эманации, которая далее может мигрировать в газовой или растворенной фазах.

В результате процесса диффузии эманаций и движения подземных вод эманации могут уноситься на значительные расстояния, создавая вокруг рудных тел газовые ореолы рассеяния.

Наиболее благоприятными объектами для эманационных поисков могут быть рыхлые отложения с небольшими колебаниями нормального эманационного поля. Методика эманационных исследований заключается в определении концентраций эманаций в воздухе. Пробы воздуха отбираются через пробоотборники, которые непосредственно задавливаются в рыхлые отложения или устанавливаются в специально пробуренных шпурах. Отбор проб осуществляется путем прокачивания воздуха из пробоотборника через эманационную камеру.

Интерпретация данных эманационной съемки представляет сложную задачу, поскольку содержание эманаций зависит от многих факторов. В процессе интерпретации важно учитывать различие периодов полураспада радона и торона, а также накопление в камере эманометра дочерних продуктов распада эманаций, в результате которого показание после отбора пробы изменяется сложным образом от времени.

В процессе съемки нетрудно определить природу аномалий. Если через 3-5 минут после введения эманаций в измерительную камеру эманометра показания увеличиваются, то аномалию связывают с радоном. При медленном убывании или постоянстве показаний – аномалия радоно-тороновая. Быстрое снижение показаний интерпретируется как тороновая аномалия.

Задачей интерпретации является выделение среди обнаруженных аномалий тех, которые представляют интерес для дальнейших исследований. Аномалии оценивают комплексом геолого-геофизических работ, включающих геологическое картирование, гамма-съемку и опробование, в процессе которых уточняют форму и размеры аномального участка, природу аномалий, наличие радиоактивных элементов.

Следует иметь в виду, что эманационные аномалии обусловлены главным образом распределением Ra и эманлирующей способности пород и не всегда находятся в прямой связи с повышенными концентрациями урана.



## Гамма-каротаж

В ряду ядерно-геофизических методов исследования скважин наиболее распространенным способом является метод естественной радиоактивности горных пород. Во всех горных породах хотя бы в небольших количествах присутствуют радиоактивные изотопы. Содержание последних в разных горных породах различно. Поэтому посредством регистрации радиоактивных излучений в скважине можно судить о характере горных пород. Альфа- и бета-лучи, имеющие малый пробег в веществе, обычно полностью поглощаются промывочной жидкостью и корпусом скважинного снаряда, детектора достигают лишь  $\gamma$ -кванты. Данный способ чаще называют гамма-методом. Гамма-каротаж – это метод исследования скважин, основанный на регистрации гамма-излучения естественных радиоактивных элементов горных пород, пересеченных скважиной. Результаты гамма-каротажа используются для литологического расчленения разрезов скважин, для их корреляции и выявления в них полезных ископаемых. В осадочных породах они являются геофизическим критерием глинистости пород.



В скважинах, бурящихся с целью поисков и разведки месторождений радиоактивных руд, ГМ служит основным методом исследования, в процессе которого не только выделяются рудные пласты и пропластки, но и осуществляется количественная оценка концентрации радиоактивных элементов. Эти сведения используются при подсчете запасов месторождений радиоактивных руд.

Радиоактивность горных пород практически полностью обусловлена элементами уранового и ториевого радиоактивных семейств (U, Th и радиоактивными продуктами их распада), а также K, один из изотопов которого  $^{40}\text{K}$  также радиоактивен. Последний испускает монохроматическое  $\gamma$ -излучение с энергией 1,46 МэВ, а излучения элементов U и Th семейств состоят из большого числа линии. Наиболее интенсивные линии U ряда (строго говоря,  $^{226}\text{Ra}$  и его продуктов распада) имеют энергию 242; 352; 609; 1120 и 1765 кэВ, а наиболее жесткие, но слабые линии-2204 и 2448 кэВ. Самые интенсивные линии ториевого ряда-с энергией 238; 338; 583; 911; 969; 1587 и 2620 кэВ. Последняя является и наиболее жесткой из линий.

Соотношение вклада радиоактивных элементов в общую  $\gamma$ -активность разных типов пород различно.

Основной вклад в  $\gamma$ -активность известняков и особенно доломитов (соответственно 64 и 75%) дает  $Ra$ , вклад  $Ra$ ,  $Th$  и  $K$  в радиоактивность глин и песчаников примерно одинаков (в среднем  $Ra$  23–26%,  $Th$  около 40%,  $K$  около 35%). В связи с этим спектр естественного  $\gamma$  – излучения терригенных и карбонатных пород несколько различен.

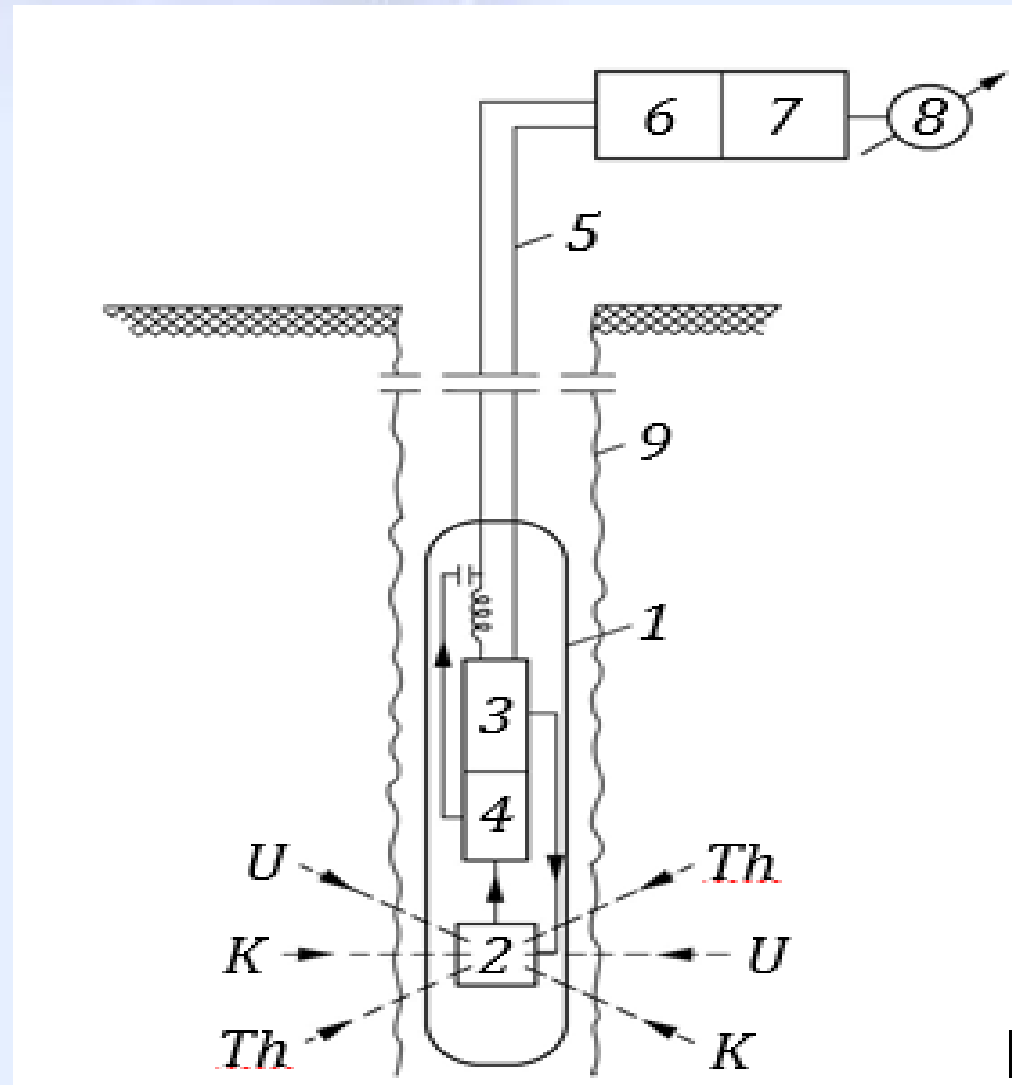
Максимальной радиоактивностью обладают глины, глинистые и битуминозные сланцы, фосфориты и калийные соли.

По данным гамма-каротажа выделяются промышленные скопления калийных солей и оценка содержания калия в рудах.

В ряде случаев по данным гамма-метода в разрезе скважин можно выделить скопления фосфоритов, марганца, свинца, редких и цветных металлов, которым сопутствуют повышенные концентрации урана и тория.



### Схема проведения гамма-каротажа



Жесткое  $\gamma$ -излучение естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия) проникает к детектору через стальную кожух скважинного прибора.

После спуска скважинного прибора ГК до нижней границы исследуемой зоны и проверки аппаратуры при подъеме прибора осуществляется непрерывная регистрация естественного гамма-излучения. Скорость подъема зависит от решаемой задачи и метрологических характеристик прибора.

Результаты гамма-каротажных исследований зависят не только от естественной гамма-активности горных пород, пересеченных скважиной, но и ряда скважинных и аппаратурных факторов: диаметр скважины, толщина обсадной колонны и цементного кольца, характеристик скважинного прибора и др.

Предусматриваются методически обоснованные поправочные коэффициенты и палетки для учета этих влияющих факторов на показания ГК.

Важным моментом при практической реализации гамма-каротажа является градуирование аппаратуры. Оно необходимо для обеспечения сопоставимости измерений естественной радиоактивности в мкр/ч.

Используя эталонный источник излучения определяют для конкретной каротажной аппаратуры переходный коэффициент между скоростью счета (имп./мин) и дозой в мкр/ч.

Скважинные измерения, как правило, нормализуют относительным методом двух опорных пластов – с минимальным значением интенсивности естественного гамма-излучения– $N_{\min}$ , и с максимальным значением интенсивности естественного гамма-излучения.

Показания ГК выражают разностный относительный параметр, определяемый по формуле:

$$N = \frac{N_i - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}},$$

где  $N_i$  – измеренная интенсивность естественного гамма-излучения исследуемого пласта.

В качестве опорных пластов выбирают чистые песчаник или известняк с нулевой глинистостью ( $N_{\min}$ ) и пласт глины ( $N_{\max}$ ), залегающий в непосредственной близости от исследуемых пластов. Разностный параметр  $N$  позволяет сопоставить измерения гамма-метода, выполненные в различных скважинных условиях, без приведения их к стандартным условиям.

В процессе градуирования неизбежно сопоставление данных ГК с результатами лабораторных исследований кернового материала. Здесь необходимо учитывать различие в спектральной чувствительности детекторов, используемых в лабораторной и скважинной аппаратуре.

Спектрометрическая модификация гамма-каротажа позволяет по спектрам естественного гамма-излучения горных пород получить сведения о содержании отдельных радиоактивных элементов, в частности радия, тория и калия. Поскольку элементы уранового ряда до радия испускают слабое гамма-излучение, а продукты распада  $Ra$  и  $Th$  обычно находятся в радиоактивном равновесии, достаточно оценить содержания  $Ra$ ,  $Th$  и  $K$ .

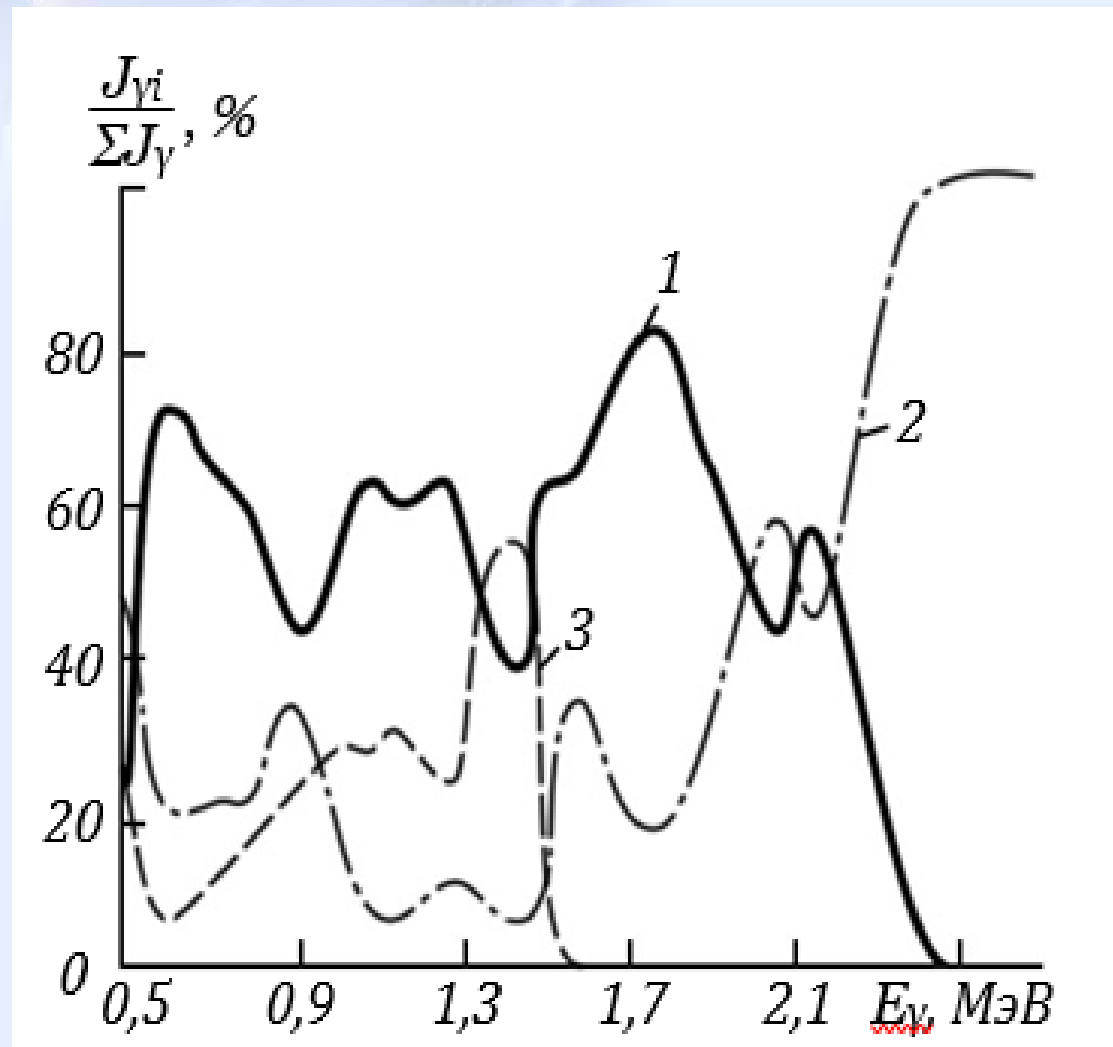
Эти количественные параметры представляют интерес для решения следующих задач:

- оценка содержания урана и тория в рудах;
- оценка минерального состава глин;
- расчленение и корреляция разрезов, дифференцированных по концентрации одного из радиоактивных элементов;
- изучение генезиса отдельных типов пород, в частности выделение вторичных доломитов по соотношению  $Ra/Th$  и т.п.

При количественной оценке концентрации отдельных радиоактивных элементов по результатам гамма-спектрометрических измерений следует учитывать вклад непрерывного комптоновского распределения более высокоэнергетического гамма-излучения, который несколько искажает истинные энергетические спектры радионуклидов. В каждом конкретном случае необходимо оптимизировать выбор энергетических интервалов для регистрации естественного гамма-излучения в соответствии типом и вещественным составом радиоактивных руд.



Относительный вклад  $Ra$  (1),  $Th$  (2) и  $K$  (3) в спектр  $\gamma$ -излучения известняков



Интегральный ГК применяют для выделения в разрезах скважин полезных ископаемых, отличающихся пониженной или повышенной гамма-активностью; литологического расчленения и корреляции разрезов осадочных пород; выделения коллекторов; оценки глинистости пород; массовых поисков радиоактивного сырья.

В обсаженных скважинах ГК применяют для выявления радиогеохимических аномалий, образующихся в процессе вытеснения нефти водой. С использованием ГК решают увязку по глубине данных всех видов геофизических исследований в открытом и обсаженном стволе. ГК выполняют в необсаженных и обсаженных скважинах, заполненных любой промывочной жидкостью.

Спектрометрический гамма-каротаж применяют для стратиграфической корреляции разрезов, выделения отдельных литотипов пород в различных фациях, количественной оценки глинистости пород, типа и содержания глинистых минералов и органогенного углерода, выделения при благоприятных условиях высокопроницаемых и трещиноватых зон и обводнённых интервалов.

## Опыт применения ГК

### *Выделение и оценка радиоактивных руд*

Наиболее распространенным способом при поисках и разведке урановых месторождений является гамма-каротаж. Метод позволяет не только оконтуривать границы оруденения, но и определять концентрацию радиоактивных элементов с подсчетом запасом. Большинство месторождений урана представлено однокомпонентными радиоактивными рудами, не имеющими аномальных концентраций Th. Чаще применяются диаграммы интегрального гамма-каротажа, выраженные в единицах аппаратурной мощности дозы гамма-излучения.

Наиболее ответственной задачей является определение содержания урана в руде. Поэтому в процессе интерпретации вносятся поправки на ограниченную мощность пласта, изменения диаметра скважины, поглощение излучения в ближней зоне.

Пересчетные коэффициенты находятся путем дополнительных исследований на специальных моделях, заполняемых типичной для данного месторождения рудой.

Содержание урана в модели, имитирующей пласт, определяется с помощью химических или радиоактивных анализов.

Пересчетные коэффициенты уточняются путем сопоставления результатов ГК с опробованием кернового материала опорных скважин. Вопросы интерпретации данных ГК подробно описаны в специальной литературе.

Месторождения чисто ториевых руд редки. Чаще встречаются комплексные урано-ториевые руды в различных соотношениях, не коррелирующих между собой.

Интегральный гамма-каротаж применяется в случае, когда контуры рудных тел урана и тория сближены. Количественное определение содержания радиоактивных элементов осуществляют с учетом ряда влияющих факторов.

Спектрометрический вариант ГК применяется при различном распределении урана и тория в рудах. Измеряются интенсивности гамма-излучения в энергетических интервалах спектра, оптимальных для урана (1,05-1,35 МэВ) и тория (2,05-2,65 МэВ).

Точность количественных определений концентраций радиоактивных элементов зависит от типа и состава радиоактивной руды, методики ГК, применяемой аппаратуры и методики интерпретации, учитывающей комплекс влияющих на результаты ГК факторов.

Кларковые содержания урана по радию можно определять с относительной погрешностью 30%, тория – 20% и калия – 10%. При радиометрических исследованиях обсаженных скважин относительная ошибка определения концентрации возрастают.

## ***Калийные соли***

Наиболее благоприятными объектами для гамма-каротажных исследований являются месторождения калийных солей.

Калиевая руда представляет кристаллическую смесь собственно калиевого минерала сильвина (KCl) и галита (NaCl).

Сильвинит встречается в толщах каменной соли в виде пластов и прослоев, являющихся основным объектом добычи.

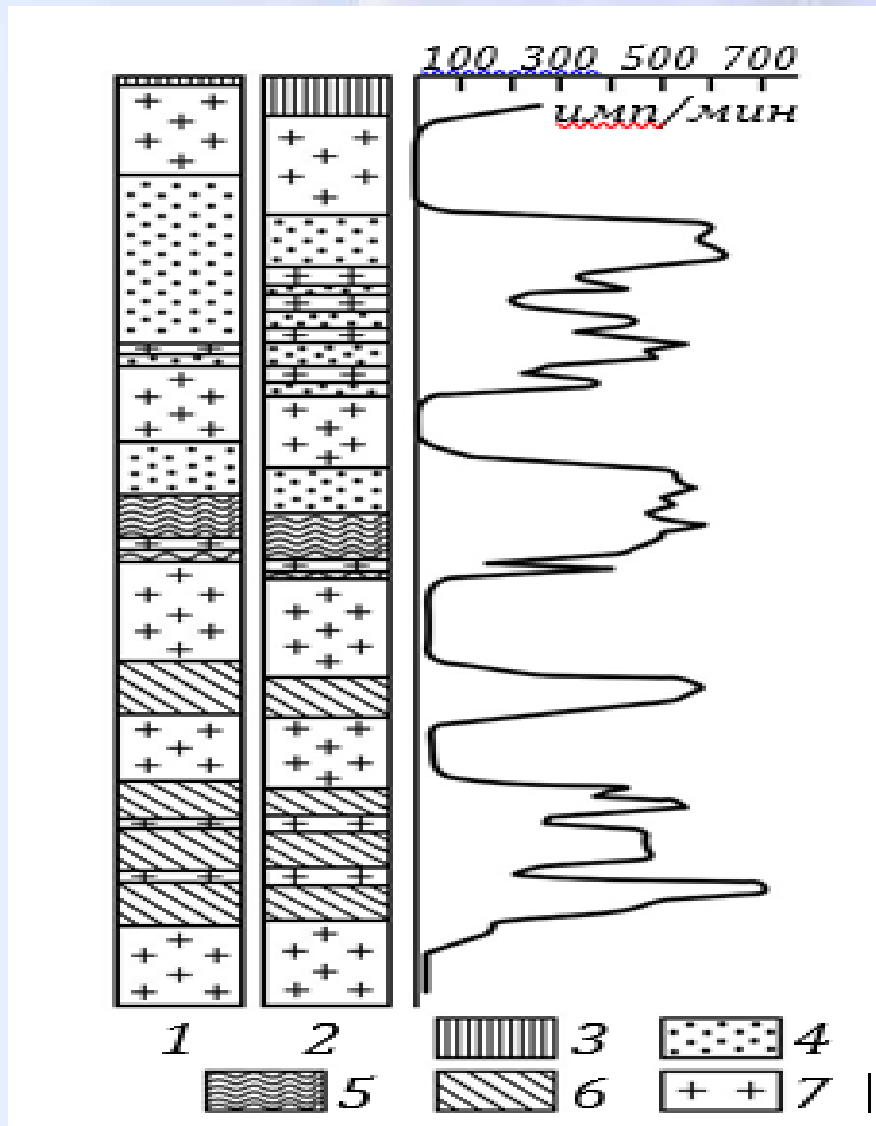
Идентификация калийной соли осуществляется по гамма-излучению радиоактивного изотопа  $K^{40}$ .

Другие радиоактивные элементы в продуктивной толще калийных месторождений практически отсутствуют.

Пример выделения калийных солей с помощью гамма-каротажа представлен на рисунке.



### Выделение пластов калийной соли по ГК



Колонки скважины по:  
1 – данным бурения; 2 – ГК.

Породы:

3 – карналлитовая;

4-6 – сильвинит (4 – пестрый,  
5 – полосчатый,  
6 – красный);

7 – каменная соль



## ***Ископаемые угли***

В углях по сравнению с другими породами, как правило, содержится наименьшее количество радиоактивных элементов.

Поэтому этот вид полезных ископаемых считается почти «стерильным» по отношению к урану и торию.

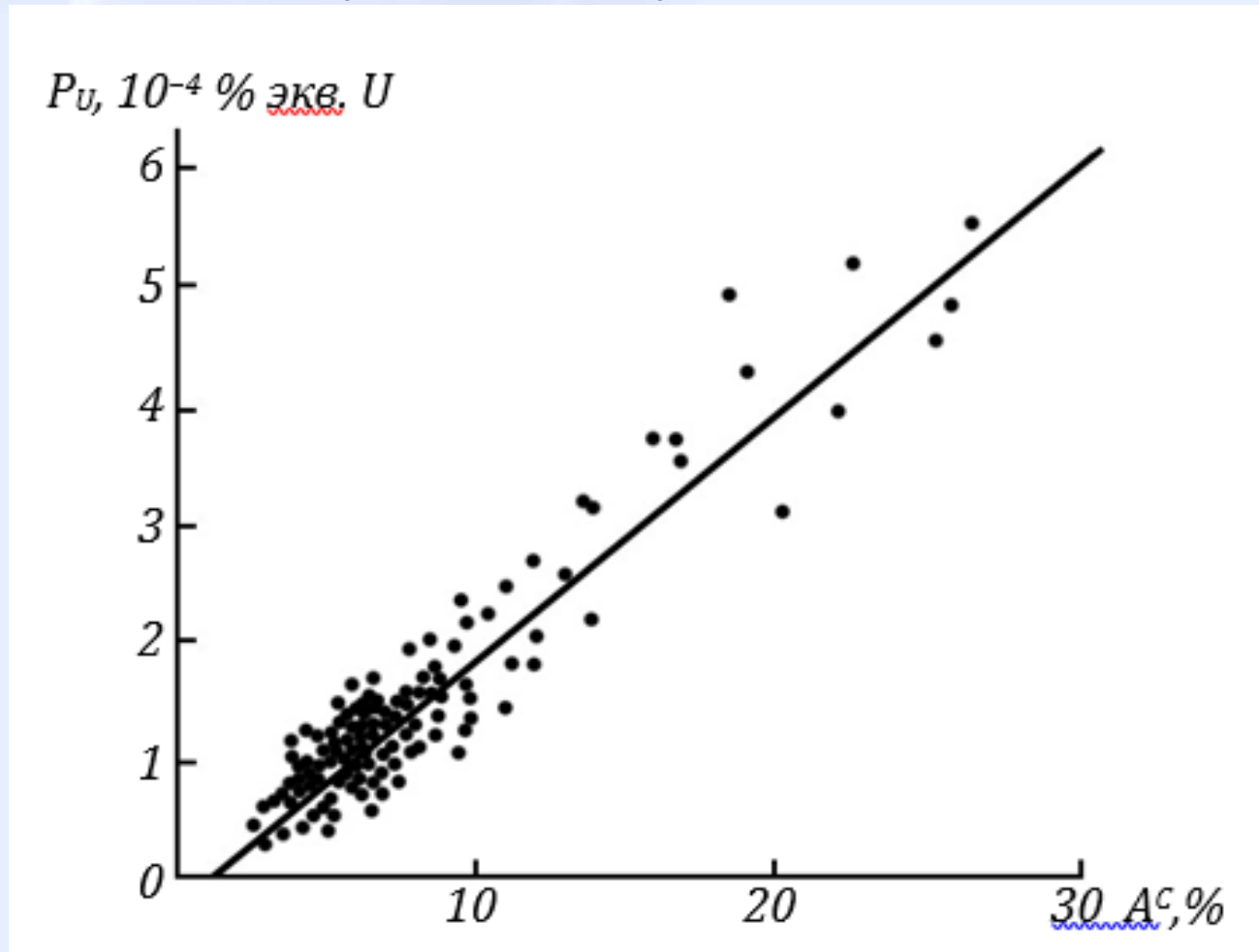
Угли на диаграммах гамма-каротажа отмечаются заметными «отрицательными» аномалиями, за исключением отдельных случаев совмещения угленосного и уранового оруденения.

Естественная радиоактивность глинистых и песчано-глинистых сланцев, песчаников, известняков заметно превышает радиоактивность углей.

Содержание радиоактивных элементов в углях различных месторождений меняется в значительных пределах.

Например, в углях Печорского бассейна в пределах  $(0,4-10) \cdot 10^{-4}$  % экв. Ra.

Зависимость содержания радиоактивных элементов от зольности углей Воркутинского месторождения



## ***Оценка глинистости***

Важнейшей качественной характеристикой гамма-метода при исследовании осадочных горных пород является возможность количественных оценок глинистости пород и содержания в карбонатных породах нерастворимого остатка – параметров, информация о которых необходима для оценки коллекторских свойств пород, а также при интерпретации других геофизических методов.

В основу такого определения положена корреляционная зависимость естественной радиоактивности пород с содержанием в них глинистого материала и нерастворимого остатка, характеризующихся повышенной радиоактивностью.

Понятию глинистости разными авторами придается не вполне одинаковый смысл. В одном подходе за глинистость принимается массовое содержание в породе политового материала – нерастворимых частиц размером менее 0,01 мм или 0,001 мм независимо от их минералогического состава (глины, кварц, полевой шпат и др.).

В другом случае глинистость связывается с содержанием глинистых минералов, особенность которых состоит в наличии химически связанной воды независимо от фракционного состава. Третий подход основывается на количестве нерастворимого остатка в карбонатных породах.

В целом все рассмотренные подходы используют связь между естественной радиоактивностью пород и их глинистостью. При оценке глинистости любыми геофизическими методами, в том числе по ГК наиболее важным является интервал глинистости до 20-30 %. Породы с глинистостью, превышающей этот порог, не представляют интерес как коллекторы нефти. При малой радиоактивности скелета породы показания ГК в глинах и неглинистых разностях различаются на порядок, т.е. в указанных пределах глинистости в 3-5 раз.

В песчаниках аномалии ГК имеют калиевую природу. Среди осадочных образований повышенной радиоактивностью обладают глинистые породы в связи со способностью глинистых минералов сорбировать радиоактивные элементы.

Аномальные показания в глинах могут иметь урановую и ториевую природу. Содержание этих радиоактивных элементов находится в корреляции с содержанием глинистого вещества. Поэтому при исследовании нефтяных скважин данные ГК используются для определения глинистости как параметра, характеризующего коллекторские свойства пласта.

Несмотря на некоторые геохимические особенности каждой стратиграфически отличной толщи пород, в целом можно говорить о существовании связи между общей радиоактивностью пород и глинистостью.

Количественная оценка глинистости осуществляется способом нормирования результатов на основе двойного разностного параметра, предусматривающего дополнительные измерения в двух опорных пластах.

Погрешность оценки глинистости терригенных пород и содержания в известняках нерастворимого остатка составляет около 30%.

В песчано-глинистых отложениях содержание глинистого материала влияет на пористость.

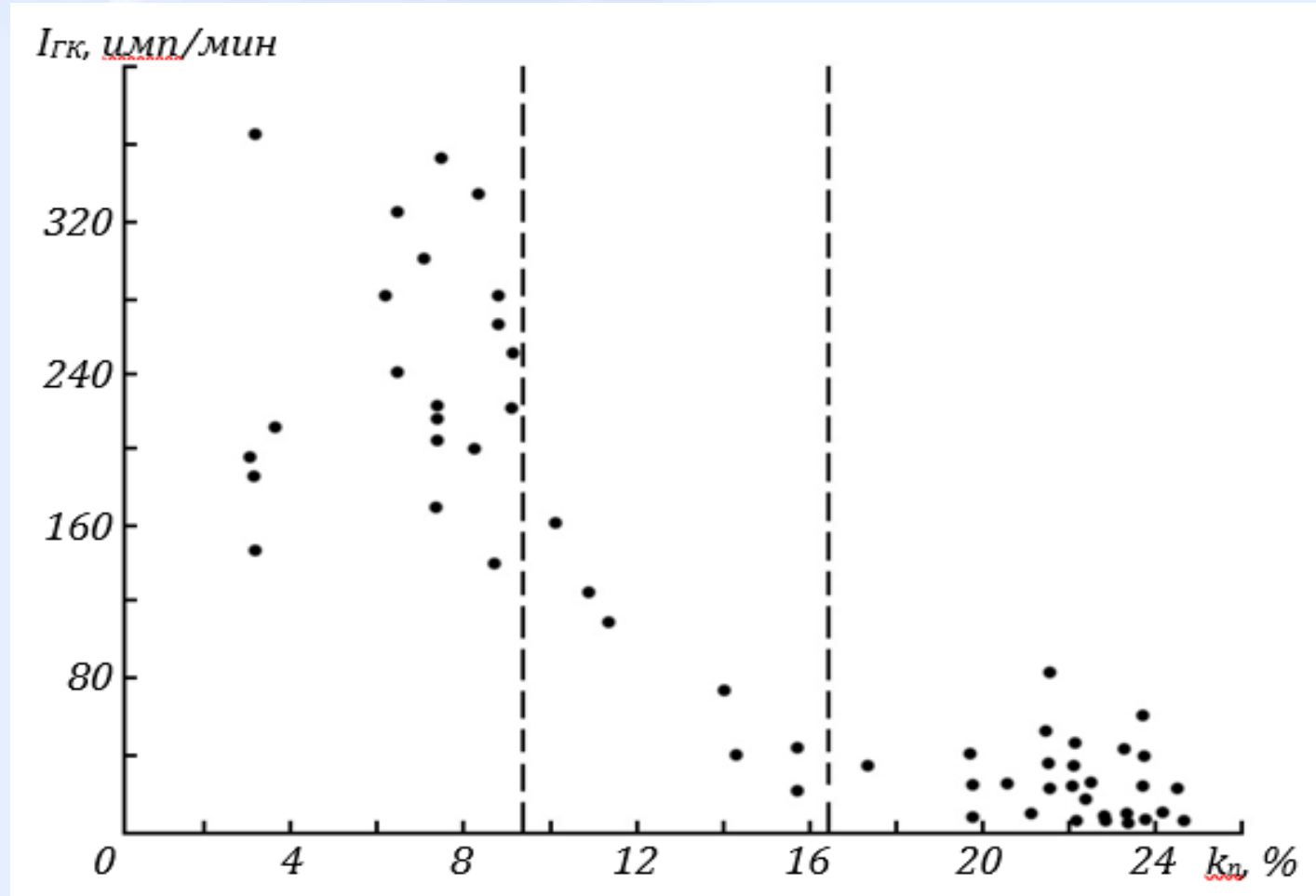
В случаях когда между этими параметрами наблюдается тесная корреляционная зависимость, данные гамма-метода могут быть использованы для определения коэффициента пористости.

Перечень полезных ископаемых, имеющих более высокую радиоактивность, чем вмещающие породы, весьма обширен. К ним относятся фосфориты, флюориты, бокситы, редкоземельные элементы, осадочные руды молибдена, ванадия и т.п. Во многих случаях установлена тесная связь естественной радиоактивности с суммарным содержанием редких земель. В отдельных случаях аномалии ГК наблюдаются на сульфидных рудах с полиметаллическим оруденением.

Применению гамма-каротажа при исследовании месторождений слюды благоприятствует повышенное содержание в них калия, а следовательно, и радиоактивного изотопа  $K^{40}$ . Эффективность метода существенно возрастает при использовании гамма-спектрометрических измерений.



## Сопоставление показаний ГК с пористостью пород, определенной по керну



1 – песчаник; 2 – алевролиты; 3 – аргиллиты



## Контрольные вопросы

1. Роль радиометрических методов при поисках и разведке полезных ископаемых.
2. Физическая сущность и отличительные особенности гамма-радиометрии.
3. Что такое нормальное гамма-поле?
4. Укажите основные радиоактивные элементы, обуславливающие естественную радиоактивность горных пород.
5. Суть и назначение пешеходной гамма-съемки.
6. Глубинность гамма-съемки. Факторы, влияющие на ее величину.
7. Принципиальные особенности спектрометрического варианта гамма-съемки. Его достоинства в сравнении с интегральным вариантом.
8. Обоснуйте возможность отдельного определения концентрации урана, тория и калия в горных породах по данным гамма-каротажа.
9. Суть и назначение эманацционной съемки.

## Контрольные вопросы

10. Суть и назначение гамма-каротажа.
11. Особенности интегральной и спектрометрической модификации ГК.
12. Что такое относительный разностный параметр в ГК?
13. Примеры успешного использования ГК в геофизических исследованиях.
14. На чем базируется возможность оценки глинистости пород по данным гамма-каротажа?

## Вопросы для самостоятельного изучения

1. Суть двойного разностного параметра при оценке глинистости пород. Обоснуйте выбор опорных пластов.
2. Роль коэффициента эманирования, периода полураспада изотопа и коэффициента диффузии на результаты эманацционной съемки.
3. Укажите объекты, наиболее благоприятные для проведения эманацционной съемки.

## Список литературы

1. Арцыбашев В.А. Ядерно-геофизическая разведка. – М.: Атомиздат, 1980, 321 с.
2. Якубович А.Л., Зайцев Е.И., Пржиялговский С.М. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. – М.: Атомиздат, 1982.
3. Мейер В.А., Ваганов П.А., Пшеничный Г.А. Методы ядерной геофизики. – Л.: Изд-во ЛГУ. 1988. – 376 с.
4. Старчик Л.П., Пак Ю.Н. Ядерно-физические методы контроля качества твердого топлива. – М.: Недра, 1985. – 224 с.
5. Ларионов В.В. Радиометрия скважин. – М.: Недра, 1969. – 327 с.
6. Резванов Р. Радиоактивные и другие неэлектрические методы исследования скважин. – М.: Недра, 1982.
7. Филиппов Е.М. Ядерная геофизика. Т.2. – Новосибирск: Изд-во Наука. Сибирское отд., 1973. – 400 с.
8. Ю.Н. Пак, Д.Ю. Пак. Ядерные технологии в геофизических исследованиях. Издательство КарГТУ, 346с. Учебник, 2016.
9. Пак Д.Ю., Пак Ю.Н. Лабораторный практикум по ядерно-радиометрическим методам в геолого-геофизических исследованиях, Издательство КарГТУ, 106с, Учебное пособие, 2018.
10. Пак Д.Ю. Лабораторный практикум по ядерно-радиометрическим методам в геолого-геофизических исследованиях (часть 2), Издательство КарГТУ, 103с, Учебное пособие, 2019.
11. Пак Ю.Н., Пак Д.Ю. Монография. Методы и приборы ядерно-физического анализа углей. Изд-во КарГТУ, Караганда, 2012.
12. Пак Ю.Н. Пак Д.Ю. Геологиялық-геофизикалық зерттеулердегі ядролық-радиометриялық әдістер бойынша зертханалық практикум. Издательство КарГТУ, 107с, Учебное пособие, 2020.

На этом лекция завершена.  
Спасибо за внимание!