



ПАО «Газпром»

Российский государственный университет
нефти и газа имени И. М. Губкина
(Национальный исследовательский
университет)



Презентационные материалы онлайн-курса «Основные технологические процессы Upstream-сектора нефтегазового комплекса»

**Метод естественной
радиоактивности. Радиоактивные
элементы и минералы. Гамма-
активность горных пород.
Измерение естественного гамма-
излучения в скважинах.
Физическая сущность, основы
теории и интерпретации метода**

С учетом распространенности радиоактивных изотопов в литосфере и вероятности их распада можно считать, что наибольшее влияние на геологические процессы оказывают U и Th с продуктами их распада, калий ^{40}K и отчасти рубидий ^{87}Rb . Остальные радиоактивные элементы из-за их малой распространенности и большого периода полураспада не могут играть существенной роли в создании радиоактивности литосферы.

Коллекторы нефти и газа характеризуются преимущественно низкими содержаниями естественно-радиоактивных элементов

Калий имеет три изотопа: ^{39}K , ^{40}K , ^{41}K , распространенность которых составляет 93.1; 0.02 и 6.88 % соответственно. Наиболее активен наименее распространенный изотоп ^{40}K , испускающий монохроматическое гамма-излучение с энергией 1.46 МэВ.

Материнскими породами для калия являются:

- силикаты магматических пород (гранит, гранодиорит, сиенит);
- полевые шпаты (ортоклаз, микроклин);
- слюды (мусковит, биотит).

В различных процессах слюды и полевые шпаты преобразуются (в зависимости от степени выветривания) в различные глинистые минералы: гидрослюда, монтмориллонит, хлорит, каолинит. Большая часть калия поступает в породы из водных растворов. С изменением глубины (давления, температуры) состав глин изменяется, например, монтмориллонит преобразуется в гидрослюда.

По содержаниям калия (и тория) можно определить тип глинистых минералов.

Уран имеет три изотопа (все радиоактивны): ^{234}U ; ^{235}U , ^{238}U с распространенностью $5,7 \cdot 10^{-3}$; 0,72 и 99,27 % соответственно и периодами полураспада $2,5 \cdot 10^5$; $7,1 \cdot 10^8$ и $4,4 \cdot 10^9$ лет соответственно. Средняя концентрация урана в земной коре составляет $3 \cdot 10^{-4}$ %.

Материнскими для урана являются силикаты магматических пород.

Важнейшая геохимическая особенность урана – высокая миграционная способность благодаря образованию хорошо растворимого уранил-иона UO^{2+} . Содержание урана характеризует восстановительные условия и наличие углерода органического происхождения.

Торий имеет только один долгоживущий изотоп ^{232}Th , распространенность которого в земной коре составляет около $12 \cdot 10^{-4} \%$.

Материнскими породами являются силикаты магматических пород.

Все соединения тория нерастворимы, при разрушении (выветривании) пород они концентрируются в бокситах, тяжелых и глинистых минералах. В последних содержания тория изменяются от $8 \cdot 10^{-4}$ до $20 \cdot 10^{-4} \%$ в зависимости от типа глин.

Классификация минералов осадочных пород по радиоактивности (по В.В. Ларионову)

1. Низкая радиоактивность (не превышает 0.1 пкг-экв Ra/кг)

Кварц, кальцит, доломит, ангидрит, каменная соль и др.

2. Средняя радиоактивность (0.1 до 1 пкг-экв Ra/кг).

Акцессорные минералы (лимонит, магнетит, турмалин, корунд, гранит), натрий-калиевые полевые шпаты (анортит, олигоклаз), роговая обманка, хлорит и др.

3. Повышенная радиоактивность (от 1 до 10 пкг-экв Ra/кг).

Глинистые минералы, слюды, многие полевошпатовые минералы, калийные соли, серицит, апатит, обсидиан и сфен.

4. Высокая радиоактивность (более 10 пкг-экв Ra/кг).

Монацит, циркон, ортит

Интерпретация диаграмм гамма-метода

$$I_{\gamma} \rightarrow I_{\gamma}^{\infty} \rightarrow I_{\gamma}^{\text{СТ}} \rightarrow \Delta I_{\gamma} \rightarrow C_{\text{гл}} (K_{\text{гл}})$$

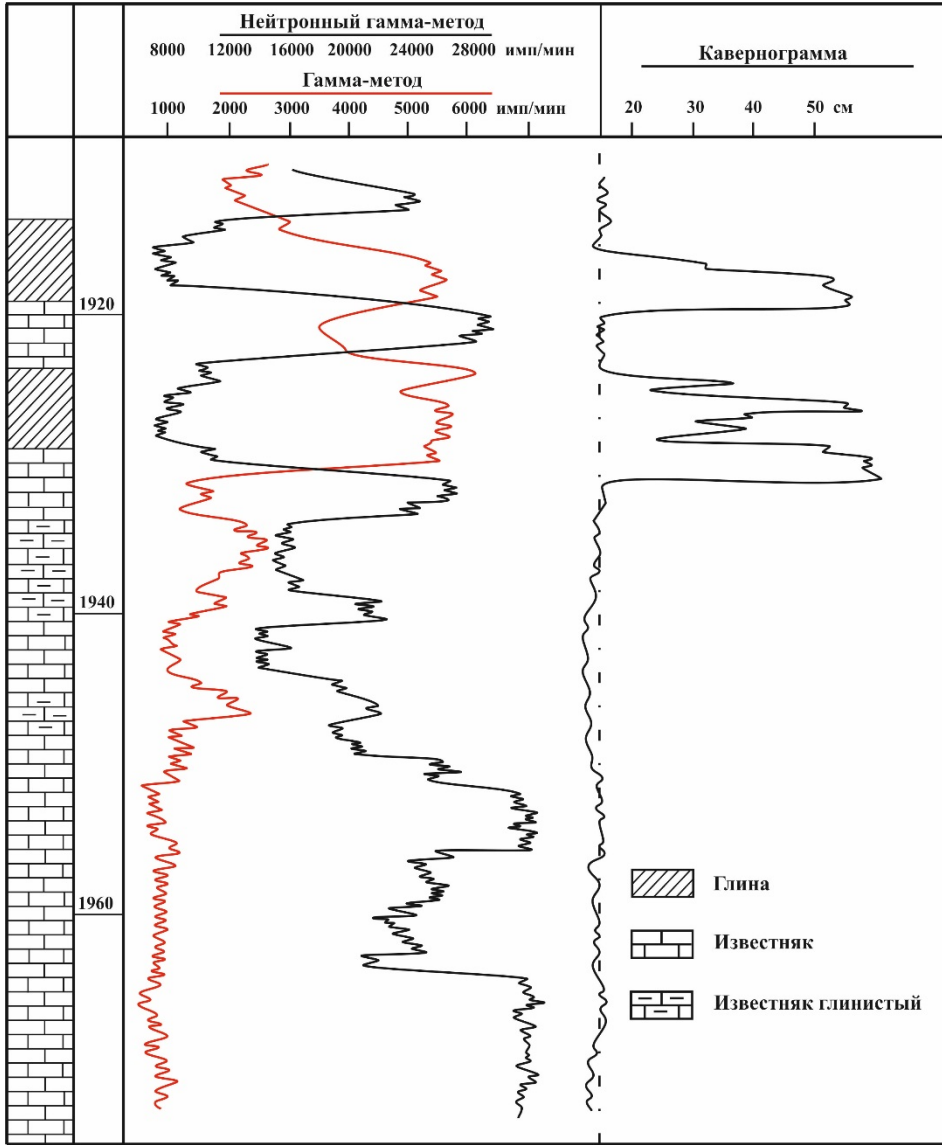
I_{γ} - показания гамма-метода против пласта.

I_{γ}^{∞} - показания гамма-метода, приведенные к условиям пласта бесконечной толщины.

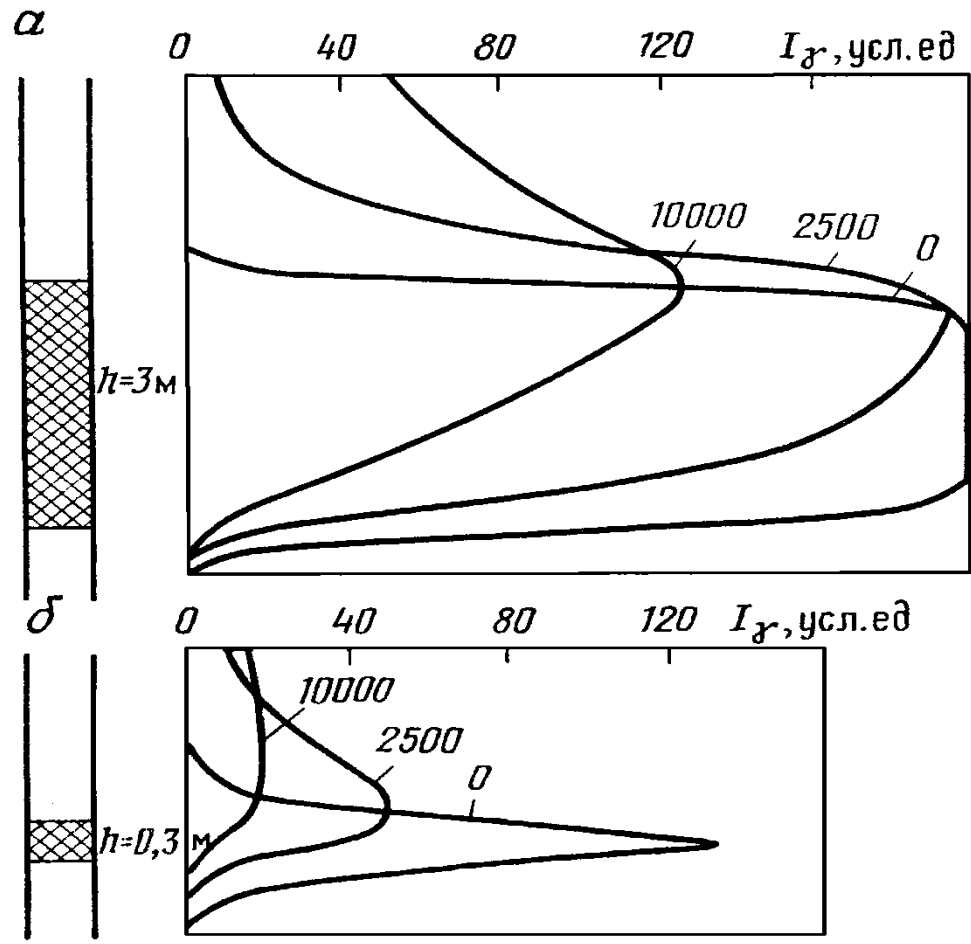
$I_{\gamma}^{\text{СТ}}$ – показания гамма-метода, приведенные к стандартным условиям.

ΔI_{γ} - относительная амплитуда гамма-метода

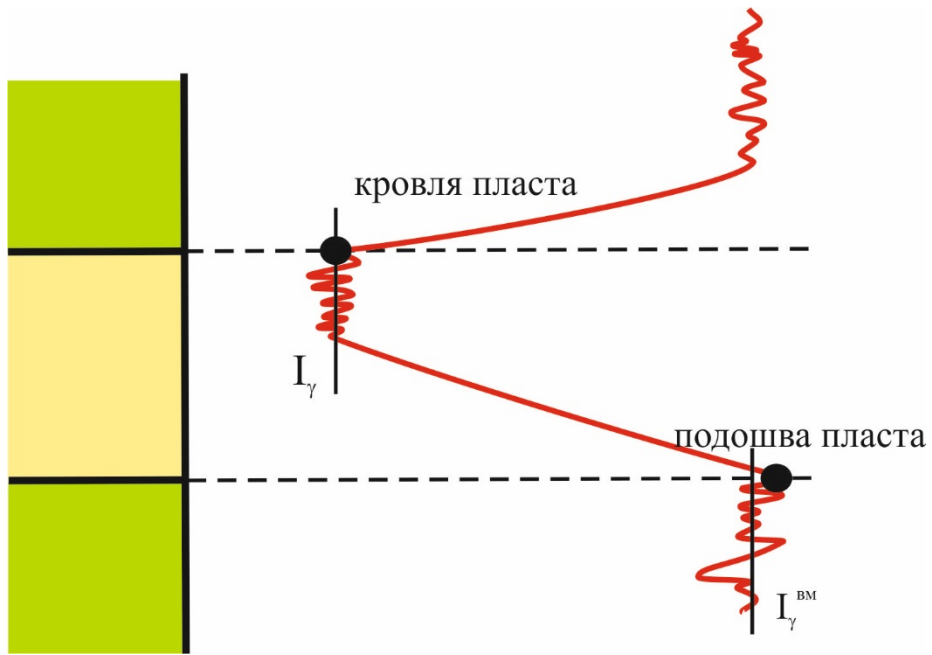
Снятие отсчетов



Кривые I_γ против пластов большой (а) и малой (б) мощности



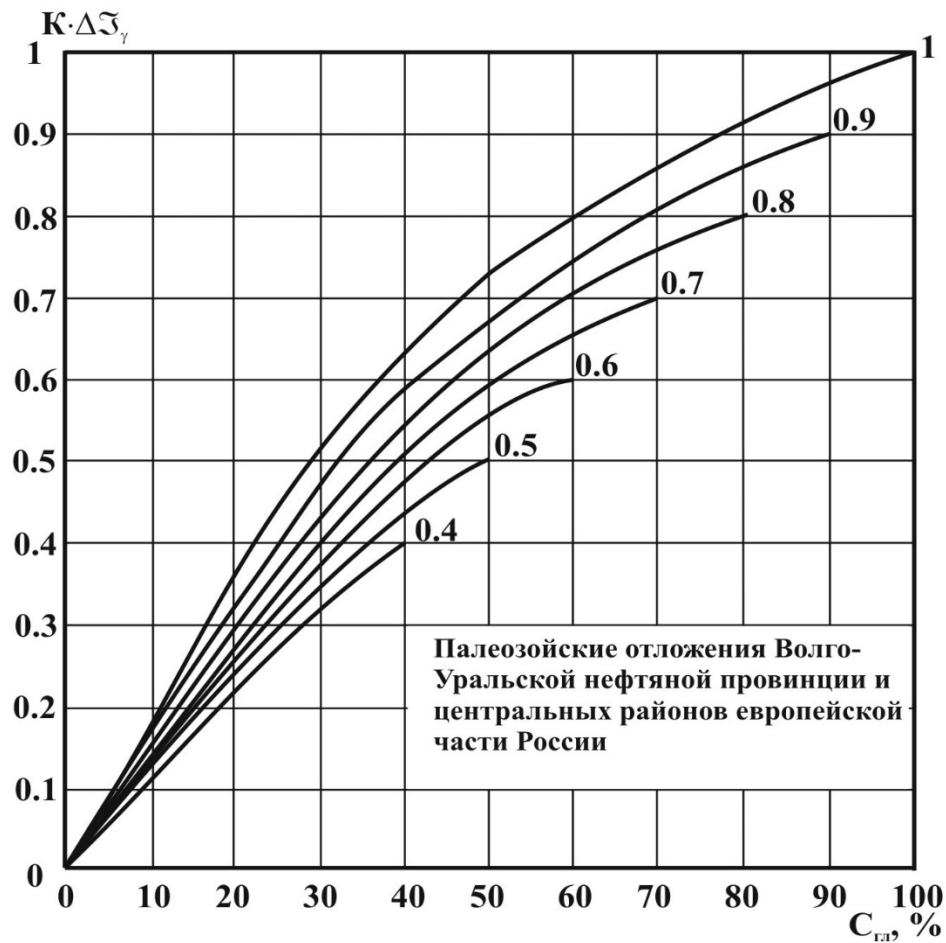
Шифр кривых – $\nu\tau$, м·с/ч



$$\Delta I_{\gamma} = \frac{I_{\gamma.\text{п}} - I_{\gamma.\text{min}}}{I_{\gamma.\text{max}} - I_{\gamma.\text{min}}}$$

где $I_{\gamma.\text{min}}$ и $I_{\gamma.\text{max}}$ – показания ГМ в пластах с минимальной и максимальной интенсивностью излучения, приведенные к одинаковым скважинным условиям. Наблюдаются соответственно против наиболее чистых пород и против глин

Определение массовой глинистости

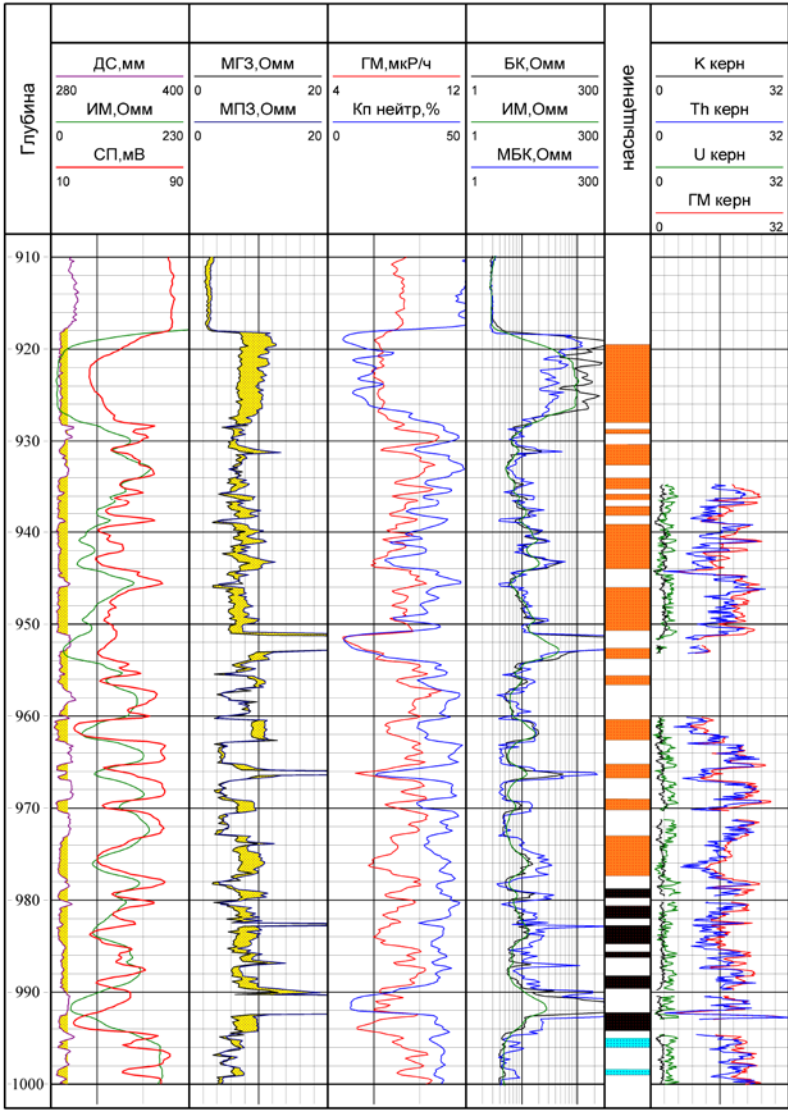


Зависимость относительной интенсивности естественного γ -излучения ΔI_γ от глинистости $C_{\text{гл}}$ горных пород для палеозойских отложений Волго-Уральской нефтеносной провинции и центральных районов Европейской части России. Шифр кривых – поправочный множитель K , численно равный содержанию глинистой фракции $C_{\text{гл}}$ в опорном пласте, характеризующимся максимальной естественной радиоактивностью

Концентрации урана, тория, калия в осадочных отложениях континентальной части земной коры (средние)

Порода	K, %	U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %
Песчаник, алевролит	1.7	2.9	10.4
Аргиллит, глина	2.7	4.0	11.5
глауконит	5.1 – 5.3	–	<10
монтмориллонит	0 – 4.9	2 – 5	14 – 24
каолинит	0.4	1.5 – 3	6 – 19
иллит	3.5 – 6.7	1.5	10 – 25
хлорит	0 – 0.35	–	3 – 5
Известняк	0.3	1.6	1.8
Доломит	0.4	3.7	2.8
Битуминозный известняк	0.3	7.8	11.9
Гипс, ангидрит	0.02	1.0	1.0
Сильвин	54	–	–

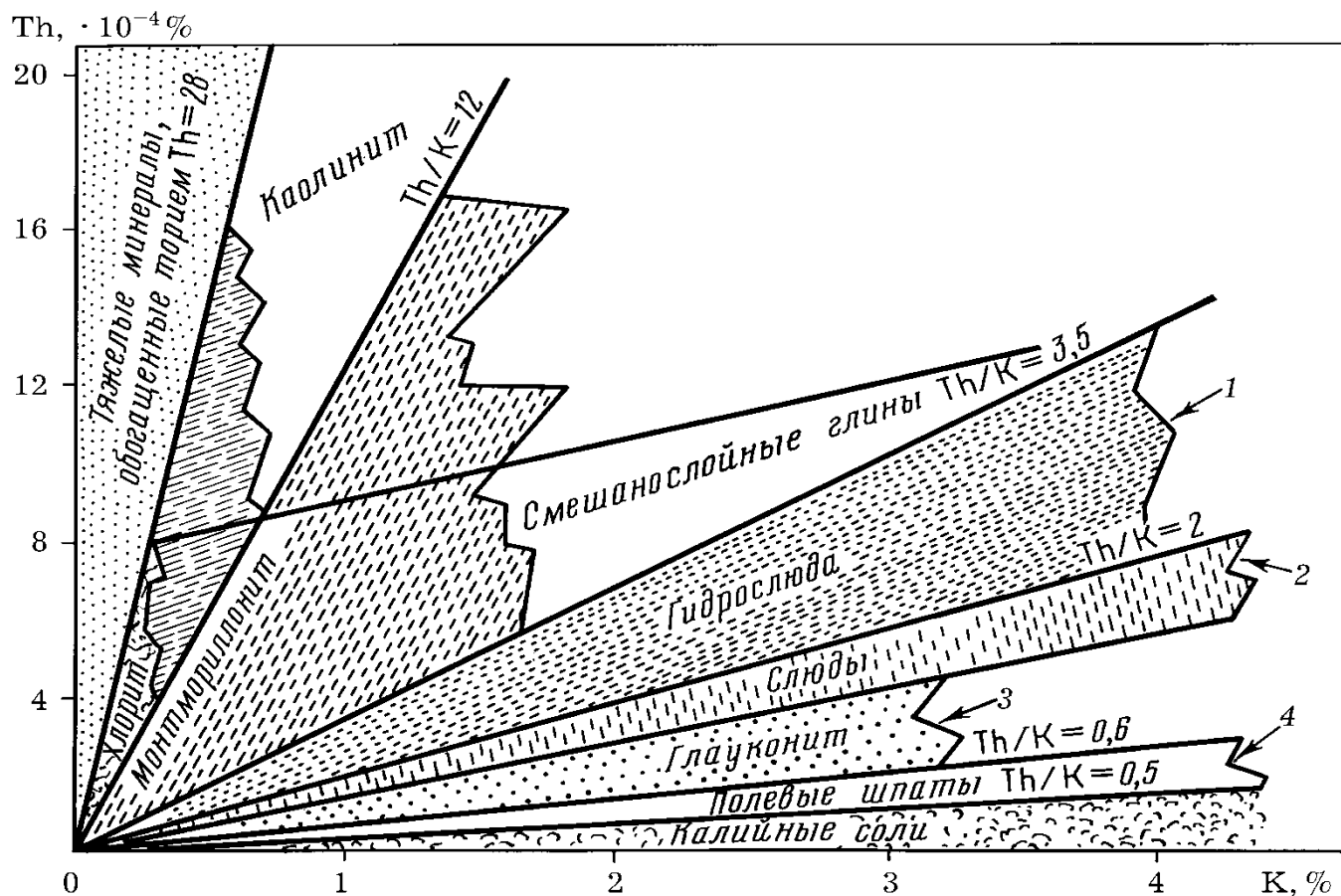
Гамма спектрометрия на колонке керн



Применения спектрометрии естественного гамма-излучения в скважинах (по В. Ферту, с изменениями и дополнениями)

Отношения	Диагностическая значимость
Th/U	<p>Условия осадкообразования:</p> <p>Th/U > 7 – континентальные условия, окислительная среда, выветренные почвы.</p> <p>Th/U < 7 – морские осадки, серые и зеленые глинистые сланцы, граувакки.</p> <p>Th/U < 2 – морские черные глинистые сланцы, фосфаты.</p>
U/K	<p>Оценка содержания типа органического вещества в породах.</p> <p>Стратиграфические корреляции.</p> <p>Выявление стратиграфических несогласий, диагенетически преобразованных глинистых, карбонатных и других отложений.</p> <p>Установление связей с кавернами и системами естественных трещин в пластах.</p>
Th/K	<p>Установление фациального типа отложений.</p> <p>Восстановление палеогеографических и палеоклиматических условий образования фаций.</p> <p>Определение условий осадконакопления, удаленности от древней береговой линии.</p> <p>Выявление диагенетических изменений глинистых минералов.</p> <p>Определение типов глин.</p>

Сопоставление массовых содержаний тория и калия для идентификации глинистых минералов (данные фирмы «Шлюмберже»)



Линии: 1 – 70%-го содержания гидрослюда, 2 – 40%-го содержания слюд, 3 – 80%-го содержания глауконита, 4 – 30%-го содержания полевых шпатов

Применения спектрометрии естественного гамма-излучения в скважинах (по В. Ферту, с изменениями и дополнениями)

Отношения	Диагностическая значимость
Th/U	<p>Условия осадкообразования:</p> <p>Th/U > 7 – континентальные условия, окислительная среда, выветренные почвы.</p> <p>Th/U < 7 – морские осадки, серые и зеленые глинистые сланцы, граувакки.</p> <p>Th/U < 2 – морские черные глинистые сланцы, фосфаты.</p>
U/K	<p>Оценка содержания типа органического вещества в породах.</p> <p>Стратиграфические корреляции.</p> <p>Выявление стратиграфических несогласий, диагенетически преобразованных глинистых, карбонатных и других отложений.</p> <p>Установление связей с кавернами и системами естественных трещин в пластах.</p>
Th/K	<p>Установление фациального типа отложений.</p> <p>Восстановление палеогеографических и палеоклиматических условий образования фаций.</p> <p>Определение условий осадконакопления, удаленности от древней береговой линии.</p> <p>Выявление диагенетических изменений глинистых минералов.</p> <p>Определение типов глин.</p>

1. установления пределов изменения гамма-активности литологически различных пород с целью корреляции немых толщ и классификации пород по минеральному составу;
2. выяснения закономерностей изменения гамма-активности коллекторов нефти и газа в зависимости от их фильтрационно-емкостных свойств;
3. реконструкции условий осадконакопления пород и выяснения цикличности процессов их образования (литолого-генетический и геоциклометрический анализ);
4. выяснения связей концентраций радиоактивных элементов с фациальной характеристикой отложений и тектоническим развитием структур, благоприятных для скопления нефти и газа;
5. выяснения взаимоотношений радиоактивности пород с их геохимическими особенностями: доломитизацией известняков, битуминизацией пород и радиогеохимическими аномалиями в зоне ВНК;
6. изучения связи гамма-активности руд радиоактивных элементов с содержанием в них урана, радия и тория для определения типов руд.