

**ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ С ГЕРМАНИЕВЫМ
ДЕТЕКТОРОМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОИСКОВОЙ НЕФТЯНОЙ И РУДНОЙ
ГЕОЛОГИИ**

И.Р. Макарова², Ф.Ф. Валиев¹, С.А.Горобец², Н.Н. Лаптев², А.М. Яфясов¹,
В.О. Сергеев²;

¹ - СПбГУ, ² - ООО «ПЕТРОФИЗИК»

**THE APPLICATION OF GAMMA-SPECTROMETRY WITH A
GERMANIUM DETECTOR FOR THE PURPOSES OF SEARCH OIL AND
ORE GEOLOGY**

I. R. Makarova², F. F. Valiev¹, S. A. Gorobets², N. N. Laptev²,
A.M. Yafyasov¹, V. O. Sergeev²

¹- Saint Petersburg State University, Saint Petersburg;

² - ООО, "Petrophysic", Ukhta

ГАММА-СПЕКТРОМЕТР С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ HPGe-ДЕТЕКТОРОМ С ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ОБЪЕМОМ 51 см³

Электронная измерительная аппаратура со вспомогательным оборудованием (кафедра ядерно-физических методов исследований)



1 – измерительная система гамма-спектрометра с германиевым детектором в рабочем режиме (полупроводниковый HPGe-детектор с чувствительным объемом 51 см³) (1а, измерительная система второго гамма-спектрометра без подключения), стрелкой показано куда помещается образец

вспомогательное оборудование для работы и измерений:


2 – дьюар с жидким азотом для охлаждения;

3 – свинцовая защита («свинцовый домик»); **3 а** – подставка;

4 – спектрометрический тракт: источник высокого напряжения, спектрометрический усилитель, амплитудно-цифровой преобразователь;

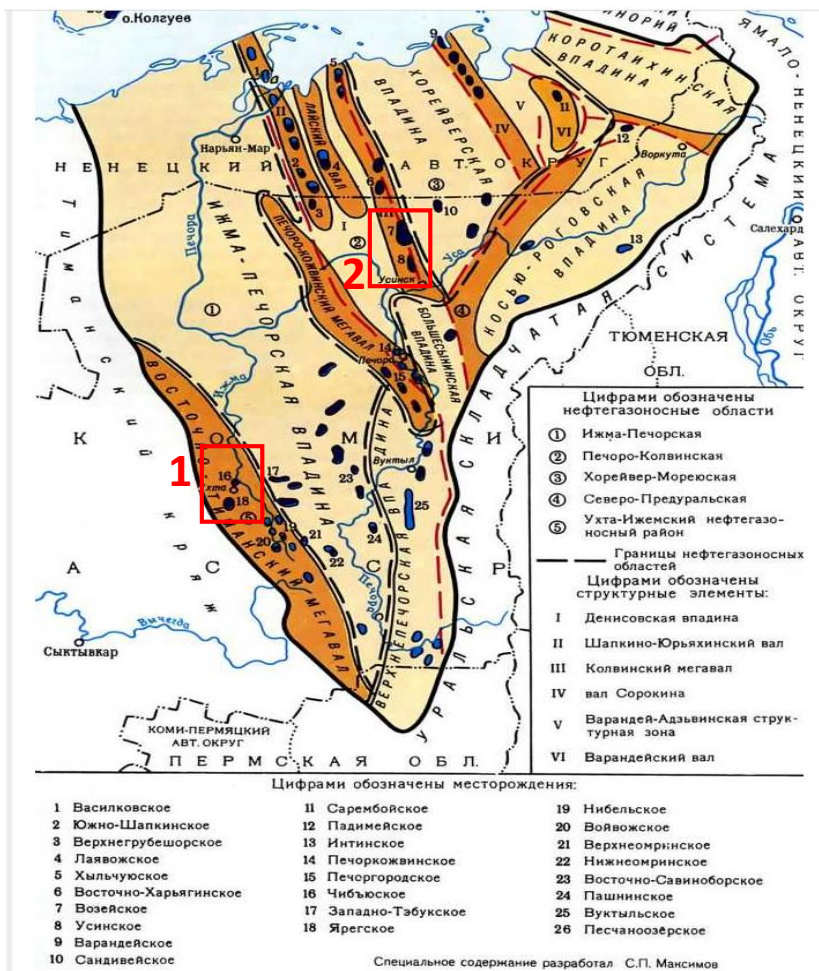
5 – ПК с программным обеспечением;

6 – образец керна в распакованном виде

 – район работ на карте России

Измерения (75 образцов) выполнены доцентом А.И. Зиппой

СХЕМА РАЙОНА РАБОТ. ТИМАНО-ПЕЧОРСКАЯ НГП, СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ



Площади отбора образцов:

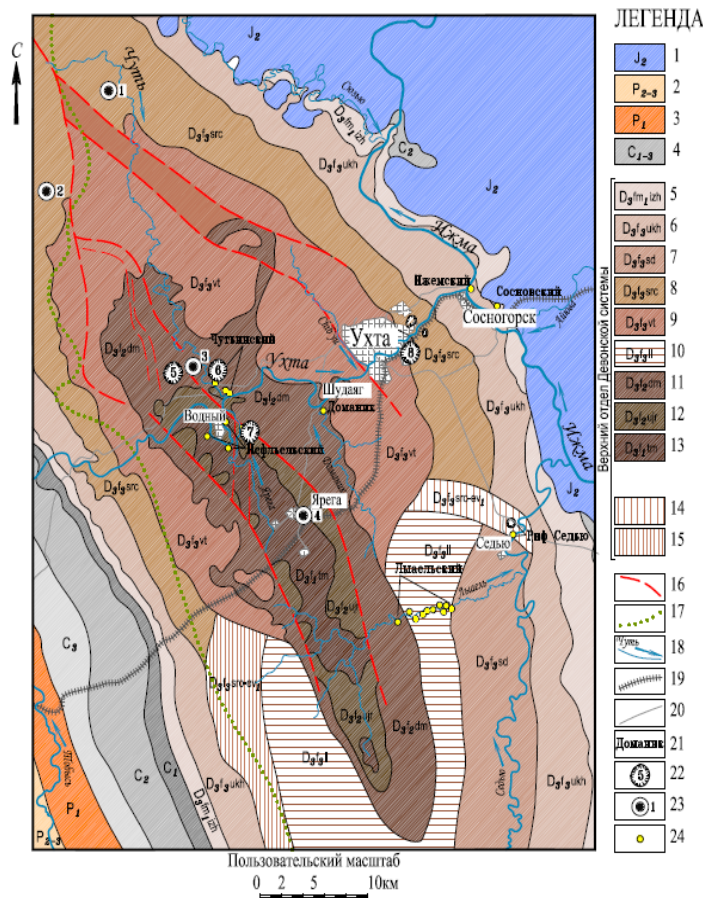
1 – Ухта-Ижемский нефтегазоносный район, Ухта-Ижемский вал (образцы из скважин и обнажений, глубины отбора проб – 0 – 270 м)

18 – Ярегское месторождение и Нижнечутинское месторождения в центральной части Ухта-Ижемского вала

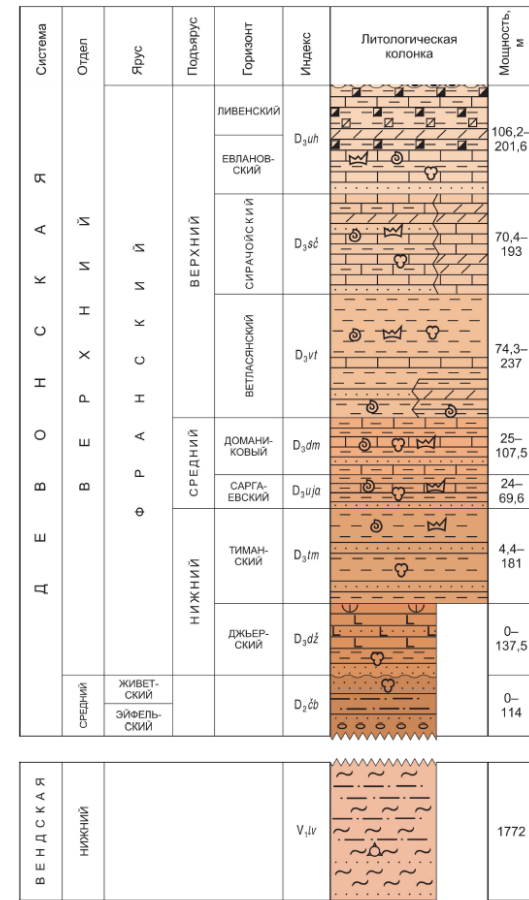
2 – Колвинский мегавал

7, 8 – Возейское и Усинское месторождения приурочены к одноименной антиклинальной складке, расположенной в южной части Колвинского мегавала.

РАЙОН ОТБОРА ПРОБ - УХТА-ИЖЕМСКИЙ ВАЛ, УХТИНСКАЯ АНТИКЛИНАЛЬНАЯ СКЛАДКА

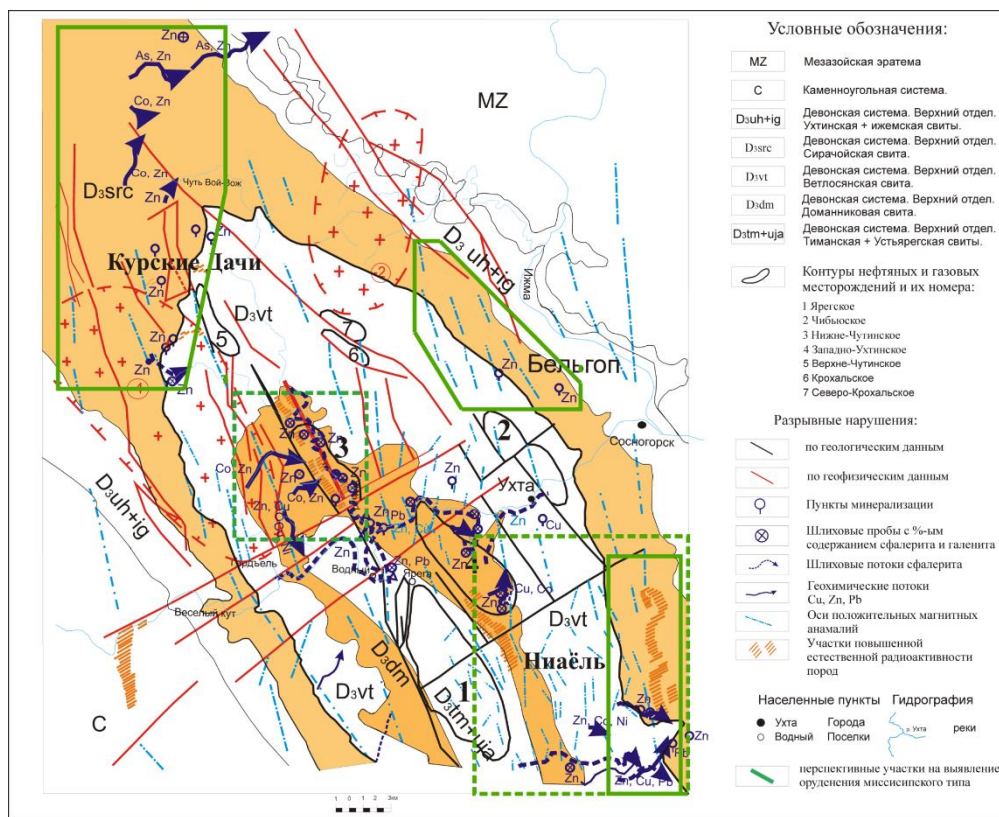


Расположение точек отбора образцов на карте донеогеновых образований Ухтинской антиклинали (по ., Макарова и др.2021)



Стратиграфическая колонка разреза венда - верхнего девона в пределах Ухтинской антиклинальной складки

ОСНОВНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ УХТИНСКОЙ АНТИКЛИНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КАК ПОЛИГОНА ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



- близкое залегание к поверхности пород фундамента и нефтеносных продуктивных горизонтов среднего и верхнего девона;
- высокая раздробленность пород вследствие большого количества тектонических нарушений;
- чрезвычайно высокая трещиноватость кремнистых пород, обеспечивших высокую степень миграционности флюидов, в т.ч. и углеводородов в пределах структурных этажей девона;
- проявление процессов вулканизма(туфы);
- проявление гидротермального влияния (в виде сульфидной минерализации)

Схема района работ по Берг, 2013

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА С ГЕМАНИЕВЫМ ДЕТЕКТОРОМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

сводятся следующему:

1. В едином ключе анализируются основные элементы геологической среды:

- породы;**
- нефти;**
- пластовые воды, поверхностные воды.**

2. Анализ пород проводится по:

- керну;**
- шламу;**
- шурфам;**
- обнажениям.**
- поверхностным пробам почво-грунтов.**

3. Особенности измерения предлагаемого метода:

- Метод - прецизионный (высокоточные измерения);**
- Метод - экспрессный (не требует предварительной пробоподготовки);**
- Метод - неразрушающий**

ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ГАММА-СПЕКТРОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ АКТИВНОСТИ УРАНА К АКТИВНОСТИ ТОРИЯ

Показатель отношения активности урана к активности тория $A(U)/A(Th)$ определяется по интенсивностям гамма-линий в распаде дочерних нуклидов в цепочках распада тория и урана следующими способами.

- **Первый способ** (*применялся при исследовании осадочных пород, неизмененных наложенными процессами*). Показатель отношения $A(U)/A(Th)$ определяется по отношению интенсивностей гамма-линий 351,9 кэВ (для урана) (и 238,6 кэВ (для тория) в распаде дочерних нуклидов ^{214}Pb и ^{212}Pb).
- **Второй способ** (*применялся при исследовании осадочных измененных гидротермами пород. в результате метаморфизма при высоком давлении и высокой температуре*). Показатель $A(U)/A(Th)$ определяется по отношению интенсивностей гамма-линий для урана - 63,29 кэВ (распад ^{234}Th), для тория - 911,21 кэВ (распад ^{228}Ac).
- **Третий способ** (*применялся при исследовании нефтей, пластовых вод*). **Определение активности U и Th.** Активность U определялась по интенсивности гамма-линии 63.29 кэВ в распаде $^{234}Th \rightarrow ^{234m}Pa$ (протоактиний). Активность Th определялась по интенсивности гамма-линии 911.2 кэВ в распаде $^{228}Ac \rightarrow ^{228}Th$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ВЕСОВОГО СОДЕРЖАНИЯ УРАНА, ТОРИЯ И КАЛИЯ (Г/Т) И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАН-ТОРИЕВОГО ОТНОШЕНИЯ

- Содержание элементов в г/т (U, Th, K) оценивается расчетным способом на основе определения интенсивностей гамма-линий для урана - 63,29 кэВ (распад ^{234}Th), для тория - 911,21 кэВ (распад ^{228}Ac) и для калия - 1460,82 кэВ (распад ^{40}K)

$$A \frac{[\text{Бк}]}{[\text{г}]} = \frac{S}{P \cdot \varepsilon \cdot t [\text{сек}] \cdot M [\text{г}]}$$

- , где
- S – площадь гамма-линии после вычета фона,
- P – число гамма-квантов на распад,
- ε – абсолютная эффективность,
- t – время измерения, сек,
- M – масса образца, г.

ПРИМЕР 1. ВЫДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ПОСТУПЛЕНИЯ УРАНА ПО НАИБОЛЬШИМ ЗНАЧЕНИЯМ ПОКАЗАТЕЛЯ A(U)/A(Th). УСИНСКИЙ РАЙОН

№ п/п	Глубина, м	Порода	НОП, %	A(U)/A(Th)	U(10 ⁻⁴ %)/C _{орг} (%)	Уровень повышенной активности U	Циклы поступления U	
1	2	3	4	6	7	8	9	
1	3228,3	мергель	20,98	6,2	2,6	5	V	
2	3230,1	аргиллит	72,11	н.д.	1,7	4*	IV	
3	3232,2	карбонатно-кремнистая	67,32	1,5	0,5		III	
4	3234,1	карбонатно-кремнистая	69,72	1,15	1,1			
5	3235,5	силицит	87,9	2,3	3,2			
6	3237,4	аргиллит	н.д.	3,5	н.д.			
7	3238,1	карбонатно-кремнисто-глинистая	58,28	6,0	1,7	3-а		
8	3239,9	аргиллит	70,05	0,6	1,5			
9	3240,7	аргиллит	75,02	3,9	1,9	3		
10	3242,0	карбонатно-глинистая	77,74	9,2	0,7			
11	3243,9	аргиллит	73,45	0,7	0,2			II
12	3246,3	мергель	42,31	12,0	0,2			
13	3246,9	карбонатно-глинистая	53,49	75,0	0,9	2	I	
14	3248,4	аргиллит	75,16	1,2	0,7			
15	3249,5	силицит	80,21	1,0	0,4			
16	3250,0	мергель	12,79	0,4	3,4			
17	3250,2	карбонатно-глинистая	52,26	2,0	4,3	1		

Уровни повышенного содержания урана отвечают началу ритмических циклов (снизу вверх) осадконакопления и используются для целей расчленения отложений на литологические единицы корреляции сопоставления разрезов скважин в осадочных толщах

ЦИКЛЫ НАКОПЛЕНИЯ УРАНА В ОТЛОЖЕНИЯХ УХТИНСКОГО РАЙОНА А,Б,В,Г,Д,Е (НЕРУЧЕВ, 1982)



Этапы интенсивности накопления урана на р. Доманик и их сопоставление с этапами развития и уровнями смены видового состава комплексов фауны

Активация Windows
Чтобы активировать Windows

Уровни накопления урана с высоким содержанием в породе чередуются с уровнями его низкого содержания

**ПРИМЕР 2. УСИНСКИЙ РАЙОН.
ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД. ОСНОВНОЙ СОСТАВ ПОРОД-ВЫСОКИЕ
ЗНАЧЕНИЯ УРАН-ТОРИЕВОГО ОТНОШЕНИЯ. КИСЛЫЙ СОСТАВ ПОРОД –
НИЗКИЕ ЗНАЧЕНИЯ**

Скважина, образец	Глубина , м	Возраст	Масса, г	Активность, А, Бк/кг		A(U)/ A(Th)	Содержание (расчет), г/г		U/Th
				A(U)	(Th)		U	Th	
52/4	2087,66	D ₃ fm ² up	134.87	25	28	0.89	2	6	0.33
55/3-10d	3461,97	D ₃ f ²⁻³	125.62	25	1	25	2	0.22	9.09
55/11d-15	3473.3	D ₃ dm	46.87	150	48	3.21	12	11	1.09
55/13d-21	3508.4	D _{tm} +sr	87.34	217	77	2.81	17	18	0.94
55/24-19d	3601,0	D ₃ d _{zr}	117.02	150	238	0.6	12	55	0.22
55/21d-25	3620.95	D ₂ st	213.66	1	9	0.11	0.002	2	0.001
55/11-25d	3682.25	D ₂ ef	101.89	1	19	0.05	0.004	4	0.001

Высокое значение показателя A(U)/A(Th) (красный цвет) при низких значениях содержания Th характерно для пород основного состава (вулканизм основной состав пород)

Крайне низкие значения показателя U/Th (синий цвет) при высоком содержании тория и урана – признак выноса урана из пород кислыми флюидами, что предполагает формирование в породах пустотного пространства за счет выщелачивания.

При этом геохимическими методами низкие содержания U и Th не всегда удается определить. Расчетные данные в г/г в количественном выражении значительно ниже данных по их активности

Пример 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПО УРАН-ТОРИЕВОМУ ОТНОШЕНИЮ U/Th ВМЕЩАЮЩИХ НЕФТЬ ПОРОД (УХТИНСКАЯ АНТИКЛИНАЛЬ)

Названия пород	Возраст	U, г/т	Th, г/т	U/Th
глины-15	D3v	4.26	1.40	3.043
сланцы С	D3dm	5.73	1.42	4.04
сланцы М	D3dm	4.49	0.69	6.51
сланцы -7	D3dm	11.60	3.86	3.01
сланцы-226	D3dm	4.52	20.40	0.222
сланцы-278	D3dm	3.33	1.15	2.90
глины-540 Пласт I	D3tm	1.09	11.00	0.099
глины-540 Пласт I	D3tm	2.33	16.80	0.139
глины-540 Пласт I	D3tm	2.39	19.00	0.126
глины-540 Пласт I	D3tm	1.56	17.50	0.089
глины Пласт А	D3tm	2.40	11.50	0.209
глины Пласт А	D3tm	3.52	17.10	0.206
алевролиты Пласт II б	D3tm	3.08	15.30	0.201
алевролиты Пласт II б	D3tm	3.50	16.00	0.219
алевролиты Пласт II б	D3tm	3.78	11.80	0.320

Породы в верхней части таблицы приведены сланцы. Они обогащены органическим веществом и ураном (красный цвет), один образец (синий цвет) в сланцах результат влияния кислого вулканизма на породы.

Породы, вмещающих пластов II б и А, I (тиманская свита), фактически не отличаются по значениям показателя U/Th,

однако состав нефтей по показателю U/Th различается значительно (здесь не приводится). Из чего можно сделать вывод, что в породе присутствуют нефти из разных источников углеводородов, т.е. миграционные нефти из разновозрастных пород.

ПРИМЕР 4. ГАММА-СПЕКТРЫ НЕФТЕЙ ЯРЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

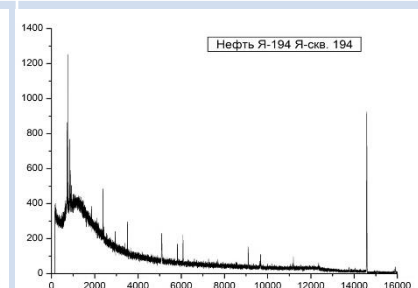
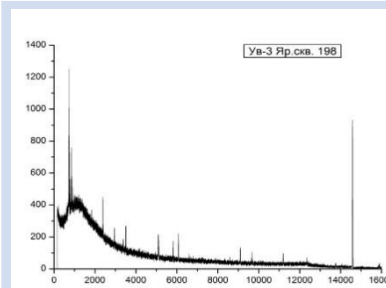
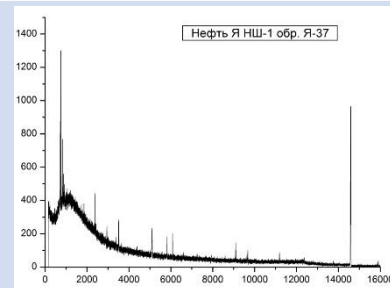
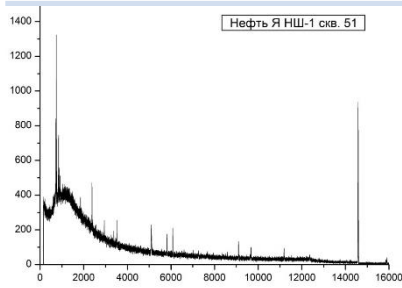


Рис.1.
Содержание урана и тория на уровне фона

Рис.2 .
Содержание урана и тория на уровне фона

Рис. 3.
Содержание урана и тория на уровне фона

Рис.4. Содержание урана и тория на уровне фона

Массовое содержание U и Th определялось по основному уравнению радиоактивного распада, путем умножения количества ядер на атомную массу. Отсюда имеем:

Массовое содержание U [г/т]=0.079*Активность [Бк/кг];

Массовое содержание Th [г/т]=0.231*Активность [Бк/кг];

Погрешности измеренных величин составляют $\pm 10\%$.

На рисунках 1-4 представлены спектры гамма-излучения образцов нефти, без вычета фона, по оси абсцисс – номер канала АЦП. Активность на уровне фона

ПРИМЕР 5. СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ПО ДВУМ МЕТОДАМ ПОКАЗАЛИ СХОДНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ БЫЛИ СОПОСТАВЛЕНЫ С ДАННЫМИ МЕТОДА ICP MS

Сопоставление значений урана, тория и калия расчетным методом на основе гамма-спектроскопических измерений и хромато-масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (метод ICP MS) одних и тех же образцов пород

№ Образца	Масса образца, г	Расчетные данные содержания на основе определения гамма- активности (U,Th,K)			Данные метода ICP MS			
		U	Th	K	K-40	U ₁	Th ₁	K ₁
1	86.58	4±2	11±1	32890±1200	4±1	1.6	8.5	28300
2	59.93	4±2	9±1	10560±770	1±1	1.0	6.2	13200

Заключение

- По нашему мнению полученный экспериментальный материал позволяет предположить, что предложенные нами показатели отношения активности урана к активности тория и расчетные значения уран-ториевого отношения в более полной мере количественно отражают значимые геологические процессы для рудной и нефтяной геологии.

- Предложенные показатели способствуют :

проведению детальных корреляционных построений с выделением этапов уранонакопления;

определению наличия магматических, вулканогенных и гидротермальных процессов, в том числе связанных с выщелачиванием и образованием дополнительного пустотного пространства;

определению локализации залежей углеводородов ;

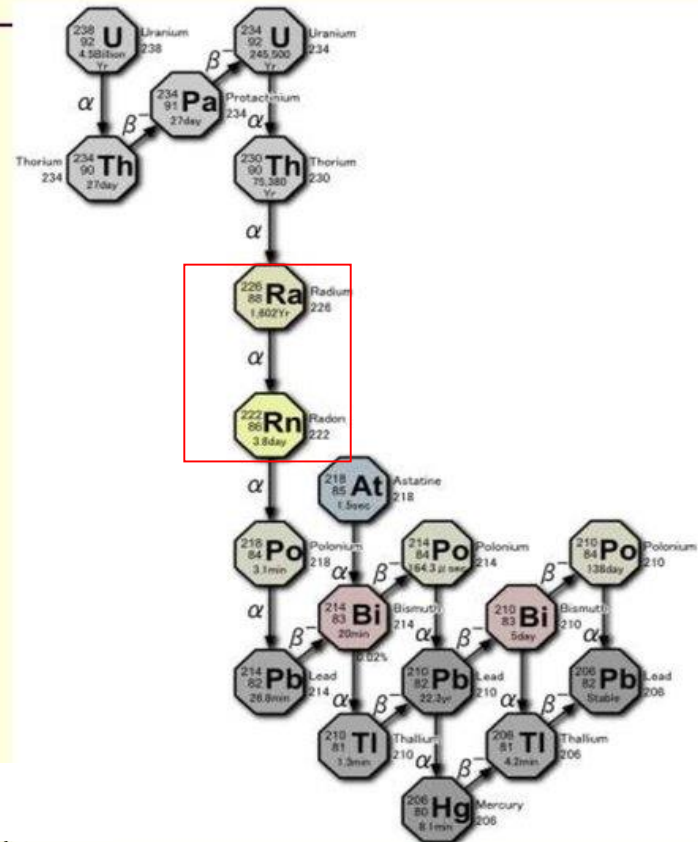
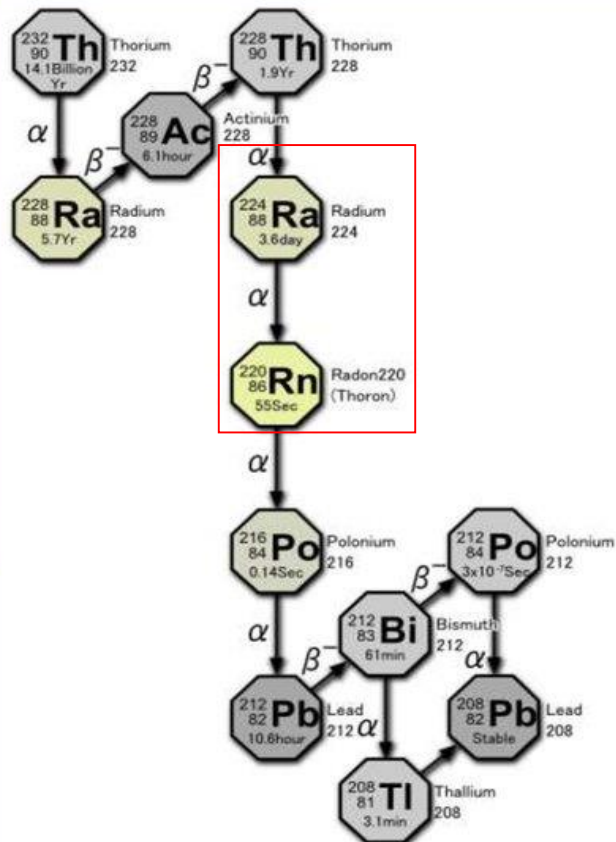
диагностике проявлений редких, редкоземельных, сульфидных полиметаллических руд и благороднометалльного оруденения.

В пользу этого свидетельствуют полученные нами экспериментальные результаты.

Спасибо за внимание!

• ДОПОЛНЕНИЯ

Радиоактивные ряды тория и урана



РОЛЬ U и Th ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОБОБЩЕННОЙ ГЕОФЛЮИДАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рудоносная система

Источники рудного вещества,
(индикаторное значение U и Th для
определения генезиса магматических пород)

Агенты транспортировки (пластовые
воды и газы глубоких горизонтов)
(индикаторы вулканизма и
поствулканических гидротерм)

Энергия транспортировки (разгрузка
газов, гидротермальных и элизонных
вод) (повышение температуры при распаде
радиоактивных элементов)

Пути транспортировки растворов
(U, Th – индикаторы разрывных нарушений)

Места локализации (разгрузки) растворов
(U, Th – индикаторы рудных залежей)

Нефтегазоносная система

Нефтегазоматеринские породы,
трещиноватый фундамент
(индикаторы миграции нефти)

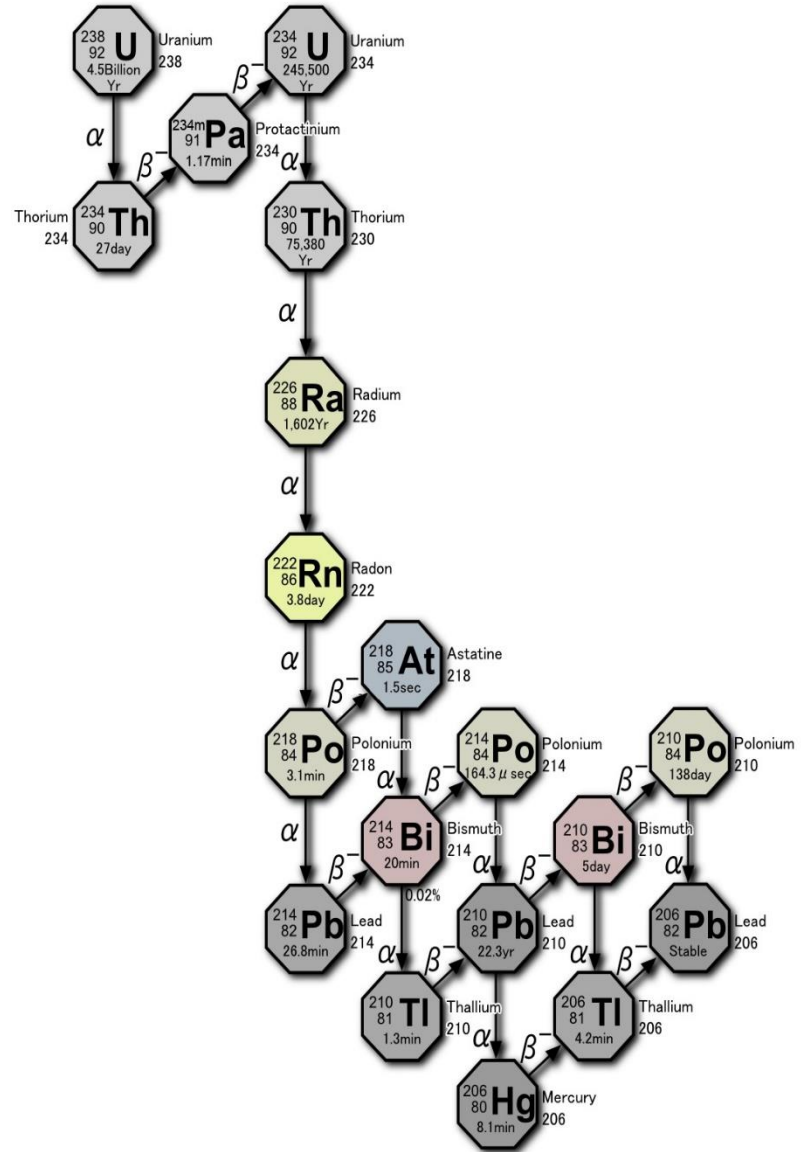
Очаги генерации углеводородов,
зоны развития вторичных
коллекторов
(различная реакционная способность
K, U, Th и устойчивость к
выщелачиванию и выносу, вынос K, U)

Зоны миграции углеводородов
(Th, U – индикаторы тектонически
ослабленных зон)

Зоны нефтегазонакопления с
ловушками и флюидоупорами
(U, Th – индикаторы нефтяных залежей)

+ T^o, P, геохимические барьеры

СЕМЕЙСТВО УРАНА



ЦИКЛЫ НАКОПЛЕНИЯ УРАНА В ОТЛОЖЕНИЯХ УХТИНСКОГО РАЙОНА А,Б,В,Г,Д,Е (НЕРУЧЕВ, 1982)

Литологический разрез	Уран →	Распространение и количество видов		Фаунистические зоны	
		гониматиты	конодонты	по гониматитам	по конодонтам
				<i>Manticoceras intumescens</i>	<i>Palmatolepis gigas</i>
	E			<i>Manticoceras ammon</i>	<i>Ancyrognathus triangularis</i>
	D				
	C			<i>Pharciceras (Nordiceras) timanicum, Gephyroctras (Probeloceras) domanicence</i>	<i>Polygnathus timanicus</i>
	B				
	A				
				<i>Timanites acutus</i>	<i>Ancyrodella rotundiloba</i>

Этапы интенсивности накопления урана на р. Доманик и их сопоставление с этапами развития и уровнями смены видового состава комплексов фауны

