

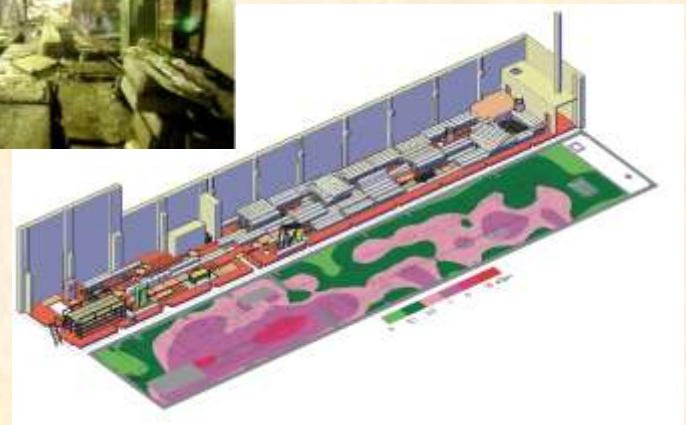


# **Экспериментальные методы определения радиационных характеристик РАО**

**В.Н. Аваев, В.П. Васюхно, А.И. Яшников**  
**ОАО «Научно-исследовательский и конструкторский институт  
энерготехники имени Н.А. Доллежала», г. Москва**

**С 1998 года НИКИЭТ проводит радиационные обследования объектов в пунктах временного хранения ОЯТ и РАО (бывшие береговые базы ВМФ) и на 1 и 2 блоках БАЭС и других объектах, включающие в себя в себя:**

- составление картограмм полей МЭД гамма-излучения и потоков бета-частиц территорий, зданий и сооружений;**
- определение и локализация источников излучения;**
- определение нуклидного состава и активности хранящихся РАО и ОЯТ.**



**В обследованиях используются дозиметрические и радиометрические приборы:**

- модернизированный дозиметр-радиометр МКС-14ЭЦ;
- измеритель параметров ионизирующих излучений МКС-21П;
- система визуализации гамма-излучения CARTOGAM

## **Модернизированный дозиметр МКС-14ЭЦ** (Изготовитель ЗАО НТЦ «Экспертцентр»)

**Диапазон измерения МЭД гамма-излучения:**

**блок БДГ-01 – от 0,1 до 1000 мкЗв/ч;**

**блок БДГ-03-01 – от 0,1 мЗв/ч до 3 Зв/ч;**

**блок БДГ-03-02 – от 0,1 мЗв/ч до 3 Зв/ч.**

**Длина кабелей у всех блоков гамма-детектирования  
от 12 м до 30 м.**

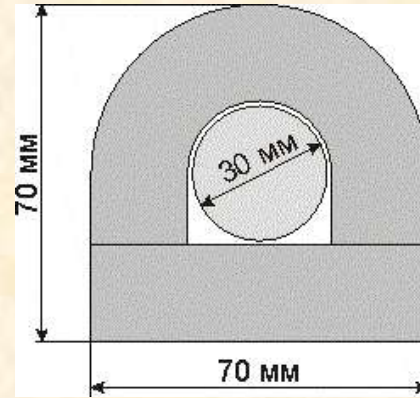
**Диапазон измерения плотности потока бета-частиц:**

**блок БДБ-01 - от 0,1 до 700 част/(см<sup>2</sup>·с)**



- 1 - блок управления;**
- 2 - блок детектирования БДБ-01;**
- 3 - блок детектирования БДГ-03-02;**
- 4 - блок детектирования БДГ-03-01;**
- 5 - блок детектирования БДГ-01;**
- 6 - штанга-держатель**

# Измерения дозиметром МКС-14ЭЦ



## Размещение датчика дозиметра МКС-14ЭЦ в коллиматоре



**Измеритель параметров ионизирующих излучений МКС-21П**  
(разработан совместно с ЗАО «СНИИП-Плюс и ЗАО НТЦ  
«Экспертцентр»)

Диапазон измерения МЭД гамма-излучения:  
блок БДРС-06П – от 1 мкЗв/ч до 5 Зв/ч  
(блок может использоваться в режиме гамма-спектрометра);  
блок БДРС-07П – от 50 мкЗв/ч до 200 Зв/ч  
(диаметр детектора 7 мм).

Длина кабелей у всех блоков детектирования 30 м



- 1 - блок управления;
- 2 - блок БДЕА-04П-10;
- 3 - блок БДЕА-04П;
- 4 - блок БДРС-07П;
- 5 - блок БДРС-07П

## Измеритель параметров ионизирующих излучений МКС-21П

Измерения плотности потока альфа-бета-частиц  
блок БДЕА-04П:

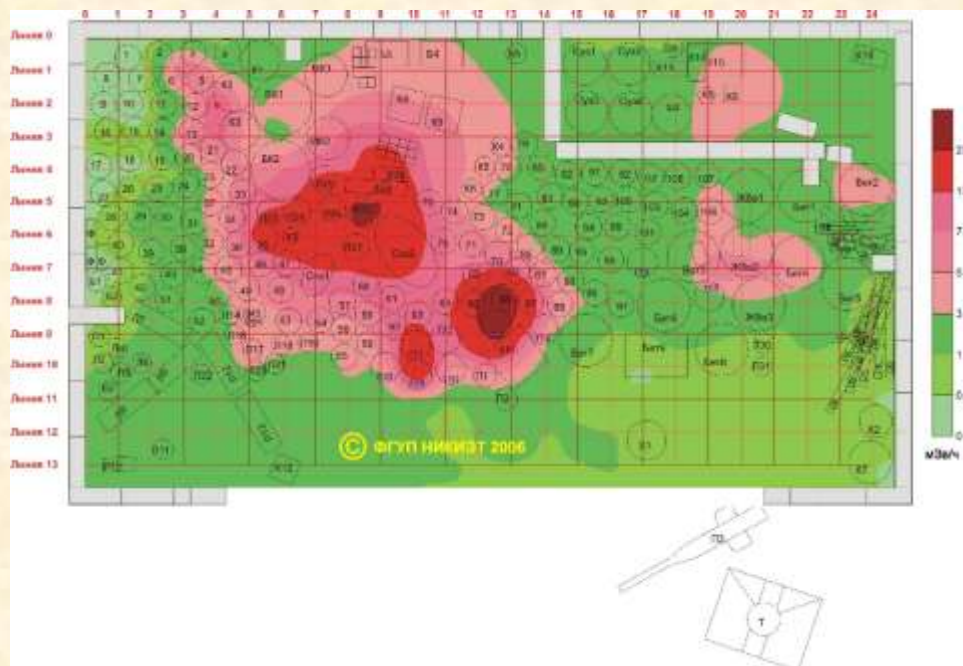
чувствительность 0,2 (альфа) 0,48 (бета) (см<sup>2</sup>с)/част  
максимальный поток до 10<sup>5</sup> част/(см<sup>2</sup>·с)  
(при МЭД гамма-излучения до 100 мЗв/ч)

блок БДЕА-04П-10

чувствительность 6,0 (альфа) 6,3 (бета) (см<sup>2</sup>с)/част  
максимальный поток до 10<sup>4</sup> част/(см<sup>2</sup>·с)  
(при МЭД гамма-излучения до 50 мЗв/ч)

Длина кабелей у всех блоков детектирования 30 м.

# Измерения прибором МКС-21П



## Измерения детектором БДРС-06П

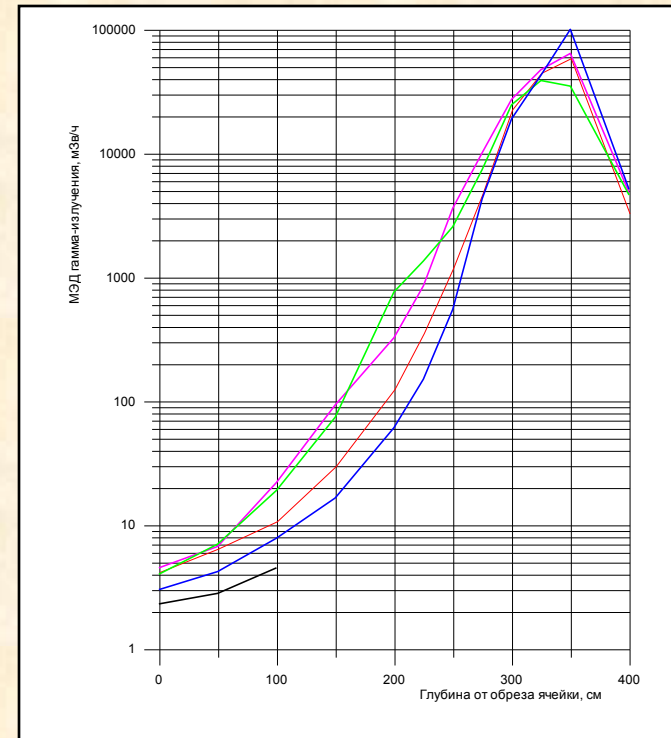
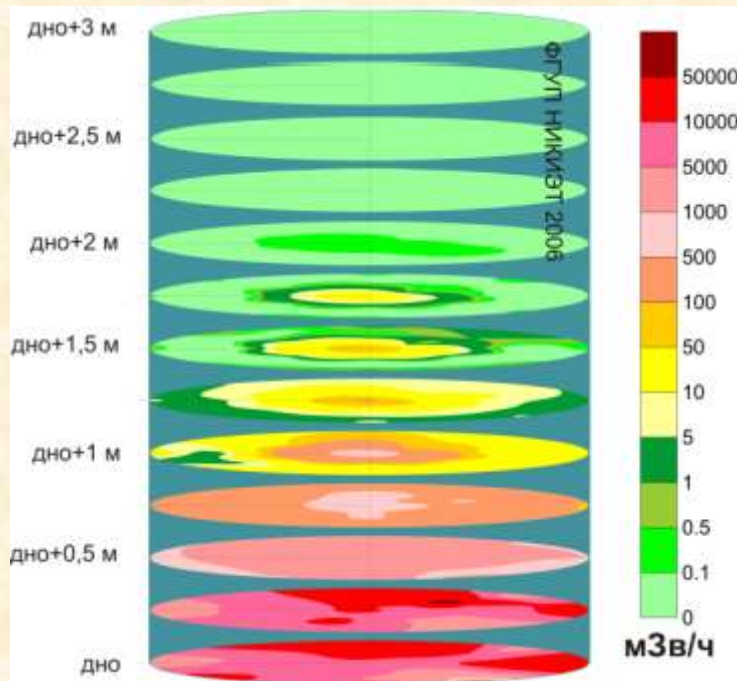
Гамма-сканирование площадки хранения ТРО в пос.Гремиха

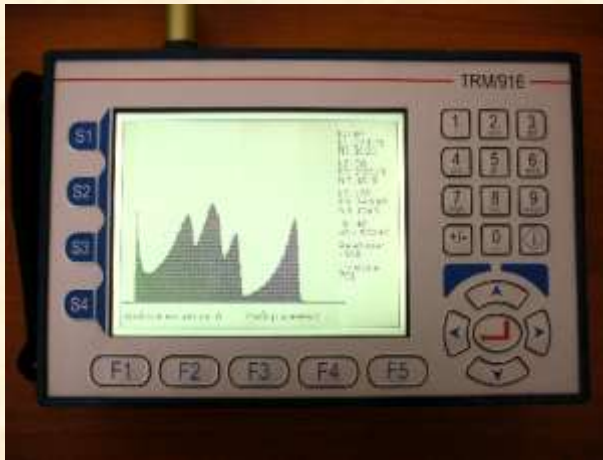


# Измерения прибором МКС-21П

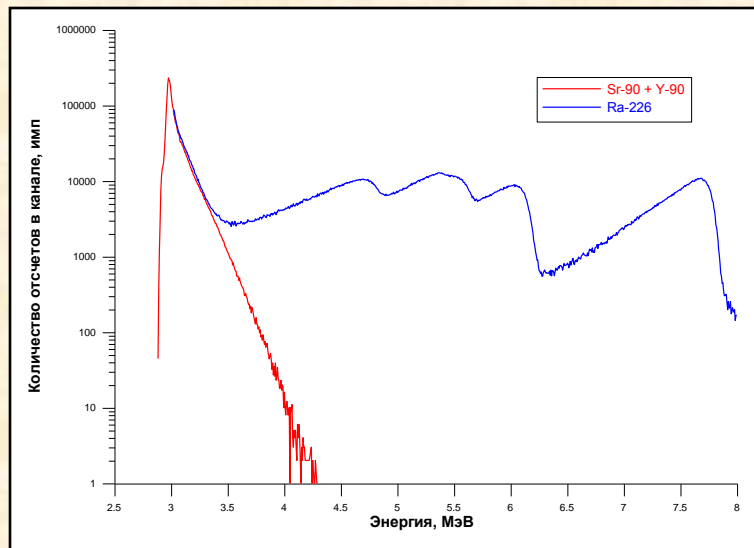


# Измерения детектором БДРС-07П

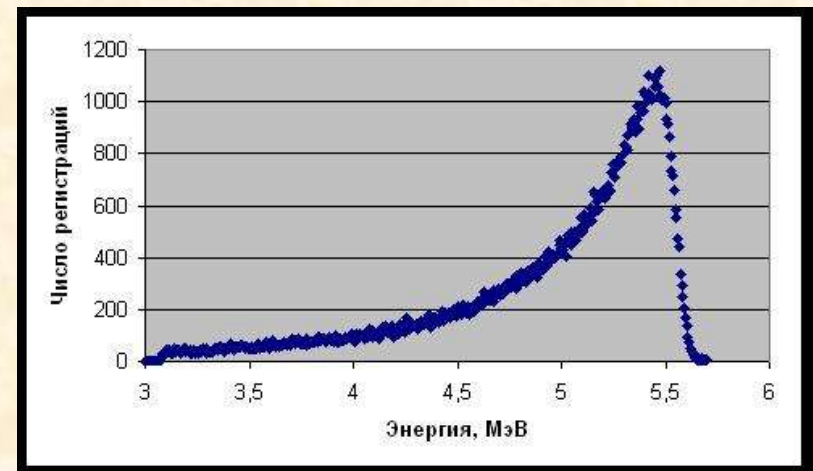




## Измерения детектором БДЕА-04П

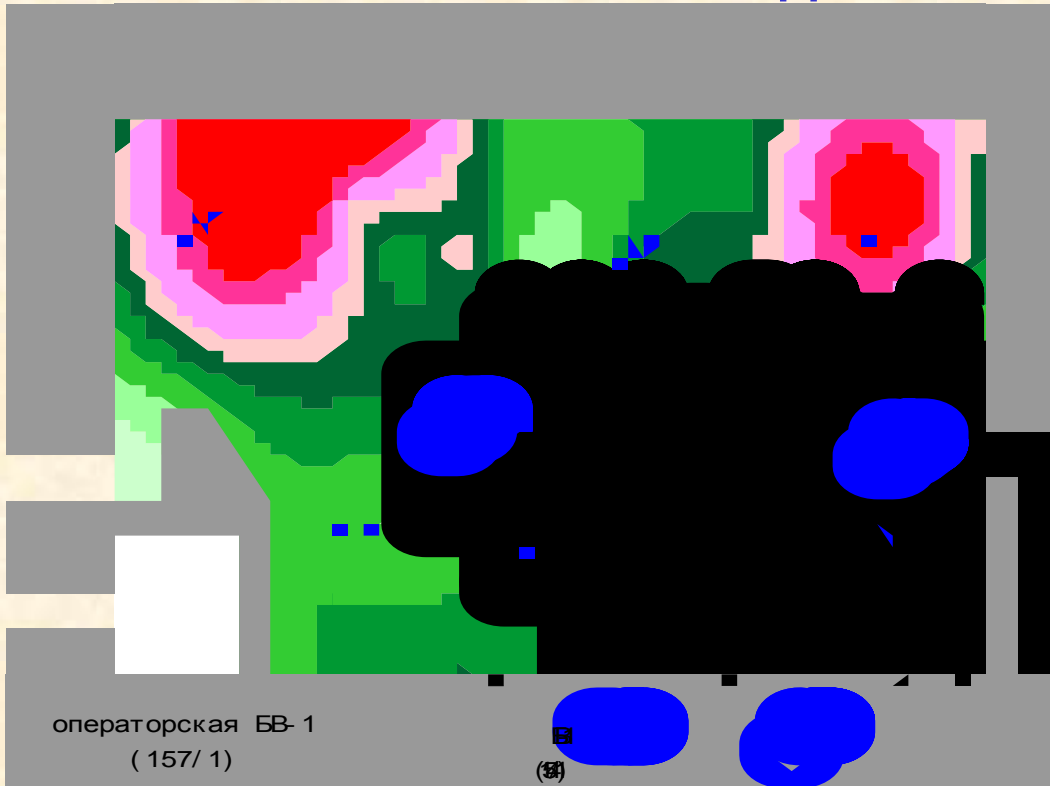


Амплитудные распределения  
от источников  
Ra-226 и Sr90+Y90



Амплитудные распределения  
от источника  
Pu-238

## Измерения детектором БДЕА-04П-10



Индекс точки	Плотность потока бета-частиц, част/(см <sup>2</sup> мин)	Плотность потока альфа-частиц, част/(см <sup>2</sup> мин)
A1	11000	5,0
A2	27000	9,2
A3	81000	19
A4	33000	3,6
A5	15000	15
A6	9000	11

Измерения плотности потока  
альфа- и бета-излучений  
на настиле бассейна выдержки БАЭС

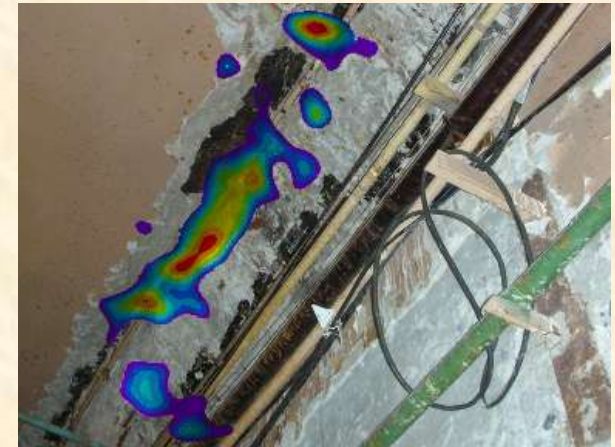
## **Система визуализации гамма-излучения CARTOGAM/E (производства фирмы Canberra)**

**Гамма-визор CARTOGAM/E предназначен для дистанционного обнаружения источников гамма-излучения, определения их расположения и создаваемой ими мощности дозы в месте расположения гамма-визора. Система позволяет получить фотоизображение обследуемого пространства в комбинации с визуальным распределением источников излучения в нем, что позволяет точно определить их положение и оценить интенсивность**



**Блок детектирования (слева, на настольной подставке) и управляющий компьютер**

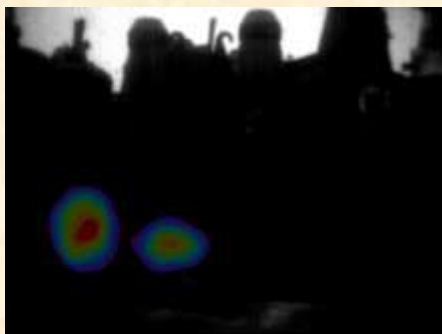
**Длина кабеля от блока детектирования до компьютера до 200 м**



Места протечек  
из бассейна выдержки  
на БАЭС

## Объекты с ТРО в пос.Гремиха

Разработанная в НИКИЭТ методика позволяет заменять выдаваемое Картогамом черно-белое изображение низкого качества на цветное высококачественное изображение



**Аппаратура и методики  
для определения нуклидного состава и активности ТРО  
пробоотборным методом:**

- гамма-спектрометр ГАММА-1С/НВ1;
- бета-спектрометр БЕТА-1С;
- ППД ОЧГ фирмы Canberra;
- альфа-спектрометр фирмы Canberra;
- альфа-спектрометр на базе радиометра РКС-20П



# Спектрометры ГАММА-1С/НВ и БЕТА-1С (производства ЗАО НПЦ «Аспект»)



Работу гамма-спектрометра обеспечивает программа LSRMCustNik, созданная на основе программы LSRM Customs. Добавленный в программу блок позволяет определять активность цилиндрических образцов.

Исходные данные:

геометрические размеры, вес, материал, расстояние до образца.

В программе применен принцип лучевого анализа, в котором используется энергетическая зависимость эффективности регистрации для точечного источника и энергетическая зависимость эффективного радиуса.

Бета-спектрометр используется для определения активности Sr-90. В применяемой методике измеряется скорость регистраций бета-частиц с энергией, больше 1 МэВ. Выбор этой энергии определяется тем обстоятельством, что нуклиды определяющие активность РАО и ОЯТ имеет энергию бета-частиц менее 1 МэВ.

Удельная активность Sr-90 определяется по соотношению:

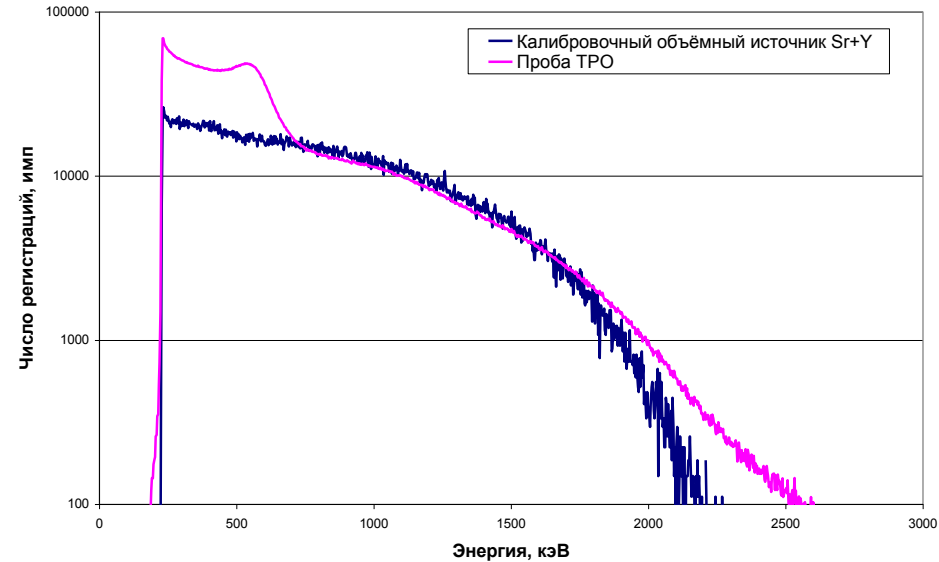
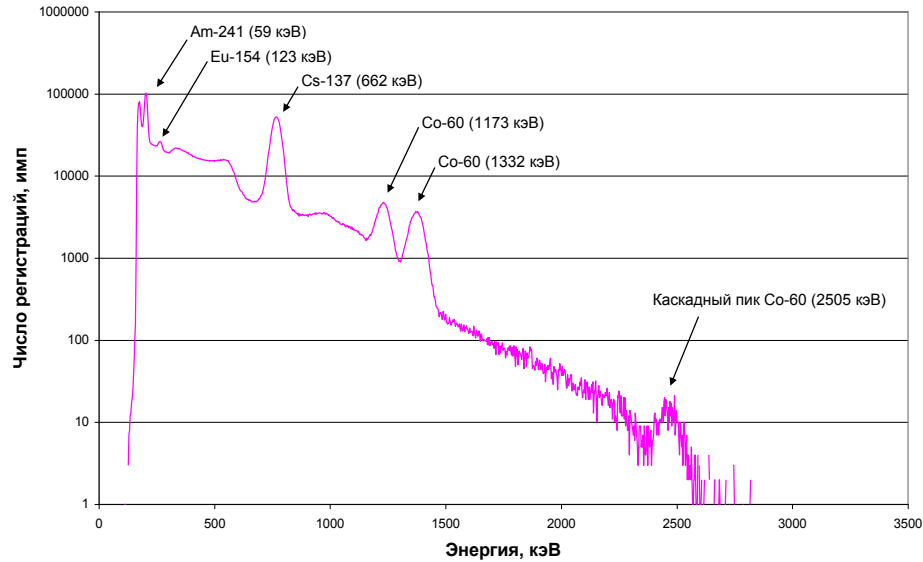
$$A = N \times K,$$

где: N - скорость регистраций (имп/с) бета-частиц с энергией выше 1 МэВ;

K - нормировочный коэффициент (Бк/кг\*с/имп).

Коэффициент K определяется экспериментально с помощью объёмного источника Sr+Y.

Измерения, выполненные с экраном, поглощающим бета-частицы, позволяют исключить влияние гамма-квантов.

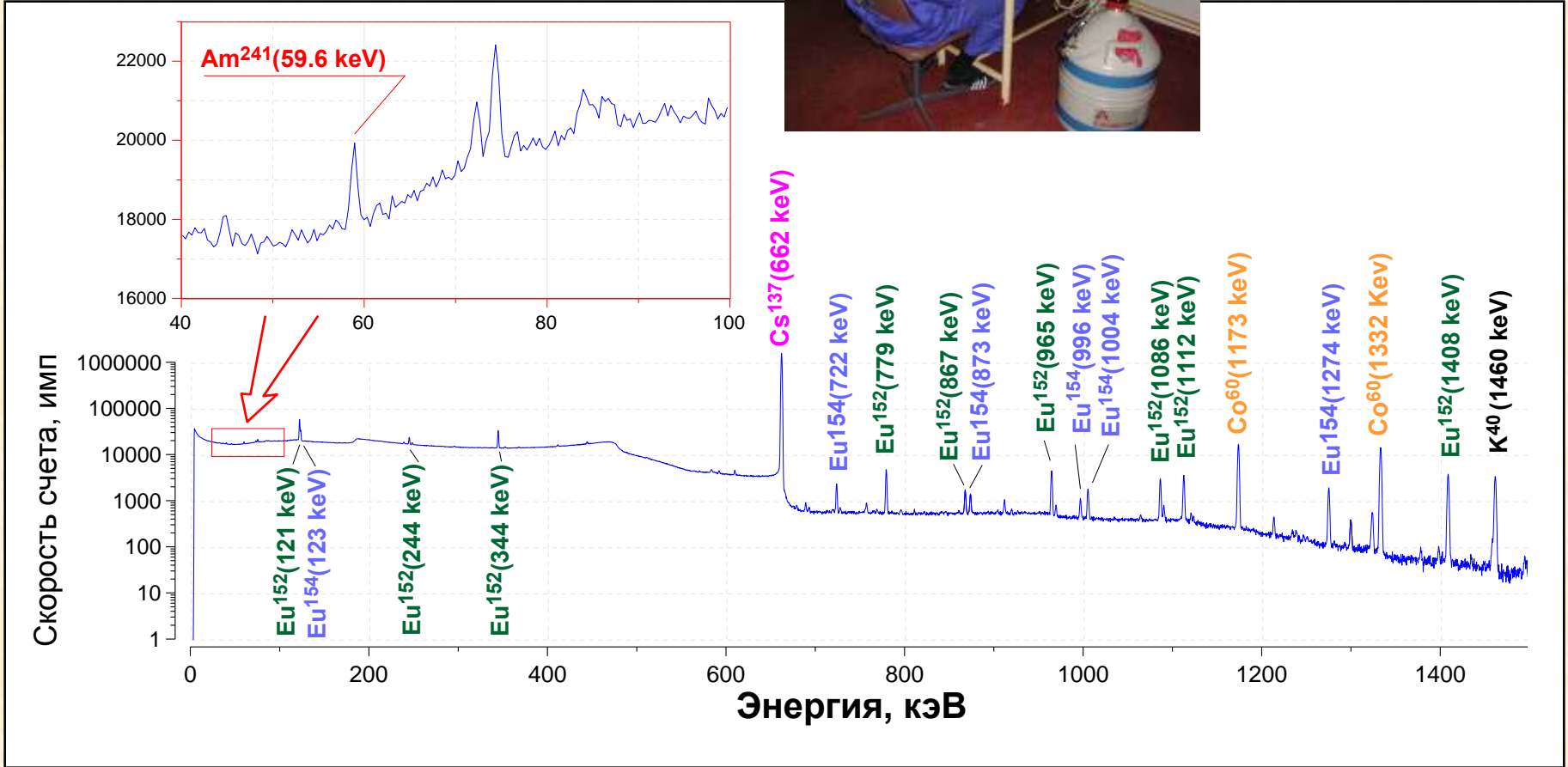


**Амплитудное распределение,  
полученное с помощью  
спектрометра ГАММА-1С от  
пробы с верхней плиты реактора  
второго блока БАЭС**

**Амплитудные распределения,  
полученные с помощью  
спектрометра  
БЕТА-1С**

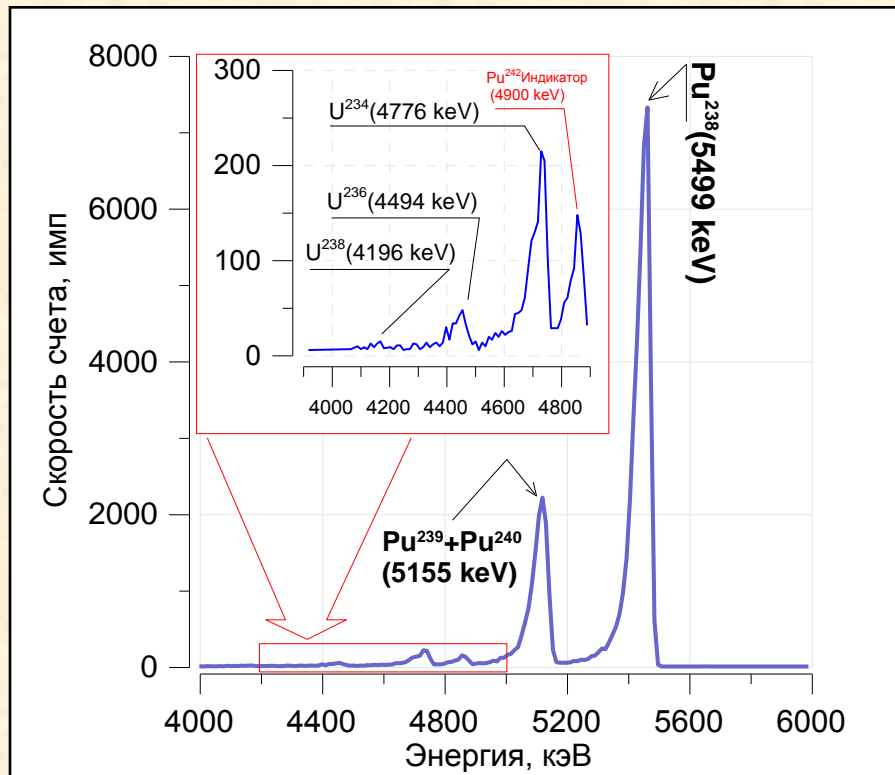


# ППД ОЧГ фирмы Canberra



Спектр пробы с площадки ТРО в пос.Гремиха

# Альфа-спектрометр фирмы Canberra



**Амплитудное распределение,  
полученное на альфа-  
спектрометре**



**Пробы подготавливались по методике, разработанной ВИМС. Методика основана на экстракции изотопов плутония и урана из раствора и последующего электролитического осаждения этих изотопов на металлическую пластинку.**

## Альфа-спектрометр на базе радиометра РКС-20П



В применяемом нами методе активность альфа-излучателя для проб, толщина, которых больше свободного пробега альфа-частиц определяется по соотношению:

$$A_{y\partial} = \frac{S(\Delta E)}{t \cdot \eta} \cdot K_{об}$$

где  $S(\Delta E)$  - количество регистраций для альфа-частицы с энергией  $E$ ;

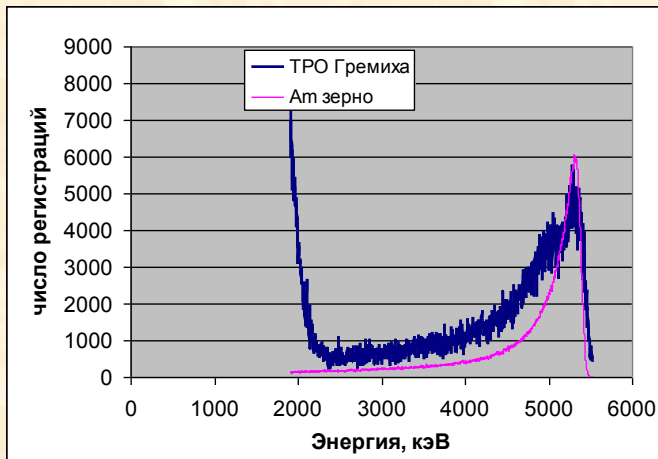
$t$  - время измерения;

$\eta$  - количество альфа- частиц на один распад;

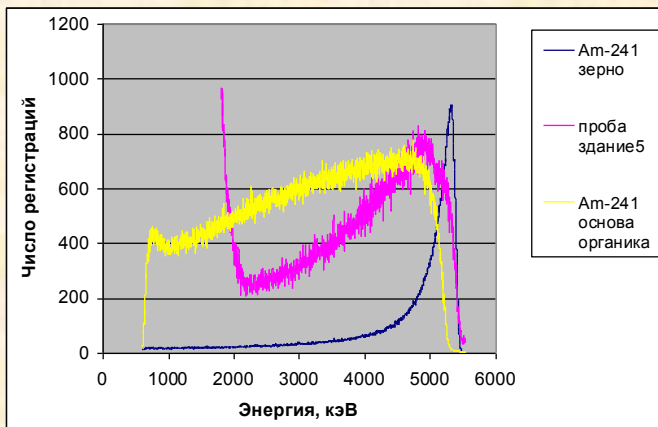
$K_{об}$  - калибровочный коэффициент, определяемый с помощью эталонного объемного источника.

## Альфа-спектрометр на базе радиометра РКС-20П

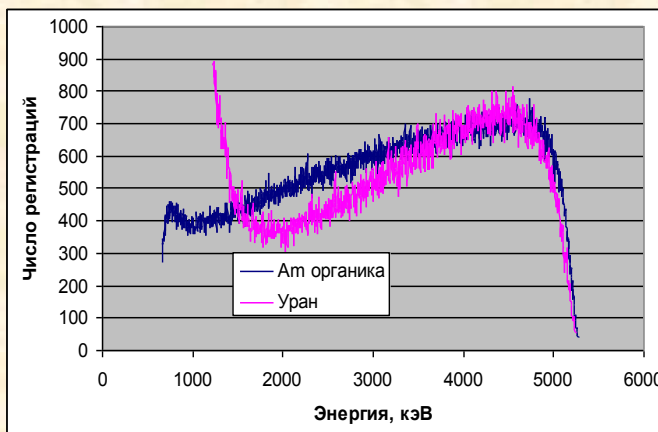
Амплитудное распределение от источника Am-241 (зерно) и пробы грунта с площадки ПВХТРО п. Гремиха



Амплитудное распределение источников Am-241 (гомогенный и зерно) и пробы из технологического зала здания 5 в губе Андреева



Спектральное распределение источника Am-241 (гомогенный) и источника U-238 (энергетическая шкала источника U-238 изменена)



# Альфа-спектрометр на базе радиометра РКС-20П



Удельная активность актиноидов в объемных источниках определяется по программе АКТИНОИДЫ.

В программе предусмотрено сравнение спектральных распределений на поверхности пробы с распределением источников, имеющих «зерновую» и «гомогенную» структуры. Если форма спектра пробы совпадает с формой спектра калибровочного источника, то калибровочный коэффициент берется для этого источника и по нему вычисляется суммарная удельная активность актиноидов. Если нет, то определяются удельные активности для каждой структуры пробы в отдельности. Для пробы, состоящей из двух фракций, количество регистраций определяется по соотношениям:

$$S_{\text{зерно}}(\Delta E) + S_{\text{гом}}(\Delta E) = S(\Delta E)$$

$$A_{\text{зерно}}(\Delta E_{\text{ч}}) * S_{\text{зерно}}(\Delta E) + B_{\text{гом}}(\Delta E_{\text{ч}}) * S_{\text{гом}}(\Delta E) = S(\Delta E_{\text{ч}})$$

$\Delta E$  – энергетический интервал измерения;

$\Delta E_{\text{ч}}$  - энергетический интервал, внутри интервала  $\Delta E$ ;

$S(\Delta E)$  - число регистраций в энергетическом интервале  $\Delta E$ ;

$S(\Delta E_{\text{ч}})$  - число регистраций в энергетическом интервале  $\Delta E_{\text{ч}}$ ;

$S_{\text{зерно}}(\Delta E)$  - число регистраций в энергетическом интервале  $\Delta E$  от «зерновой» фракции пробы;

$S_{\text{гом}}(\Delta E)$  - число регистраций в энергетическом интервале  $\Delta E$  от «гомогенной» фракции пробы;

$A_{\text{зерно}}(\Delta E_{\text{ч}}) = S(\Delta E_{\text{ч}}) / S(\Delta E)$  для пробы с «зерновой» структурой;

$B_{\text{гом}}(\Delta E_{\text{ч}}) = S(\Delta E_{\text{ч}}) / S(\Delta E)$  для пробы с «гомогенной» структурой

**Аппаратура и методики  
для определения нуклидного состава и активности ТРО  
беспробоотборным методом:**

- гамма-спектрометр СКС-20ЭЦ;
- гамма-спектрометр на основе детектора EV SPEAR с кристаллом CdZnT



## Гамма-спектрометр СКС-20ЭЦ

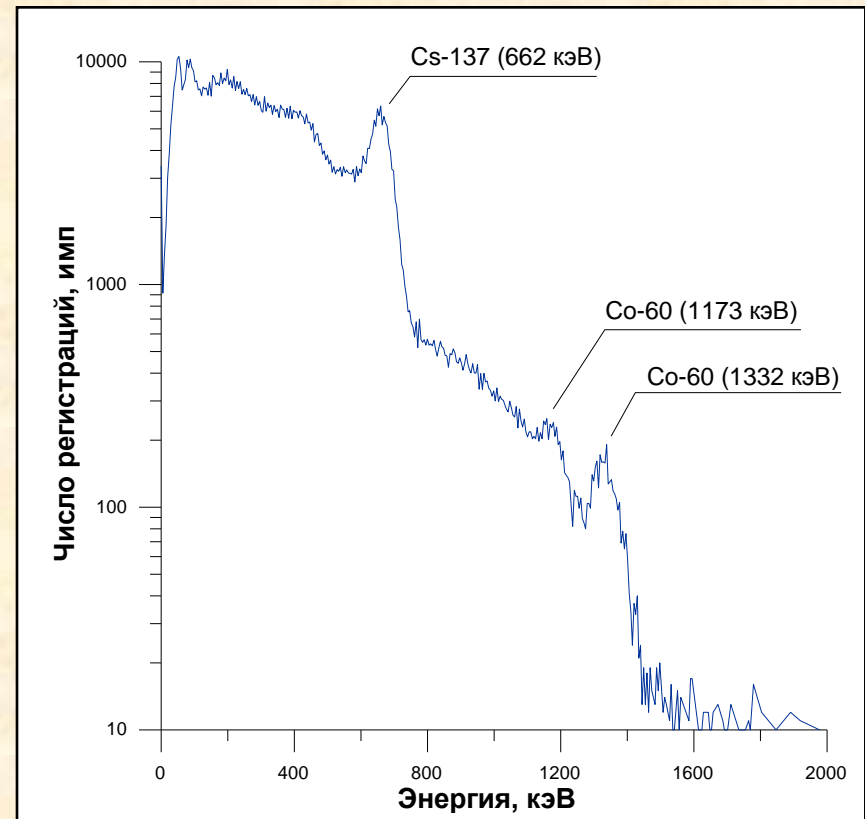
(разработан совместно с ЗАО НТЦ «Экспертцентр»)



Используется для измерения спектров гамма-излучения в полевых условиях. Определяющим параметром при создании спектрометра были минимальные габариты блока детектирования, которые позволили бы применять коллимационные устройства с небольшими весогабаритными характеристиками. Блок детектирования СБД-1.5 на основе фотодиода и кристалла CsJ(Tl) 10×10×15 мм имеет габаритные размеры 22×22×37 мм.

Спектрометр способен проводить измерения в диапазоне мощностей доз гамма-излучения 0,1-150 мкЗв/ч.

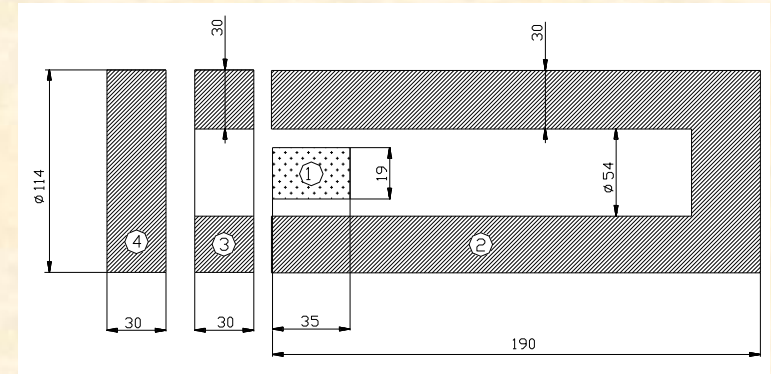
# Гамма-спектрометр СКС-20ЭЦ в коллиматоре



**Амплитудное распределение,  
измеренное на полу  
технологического зала БАЭС**

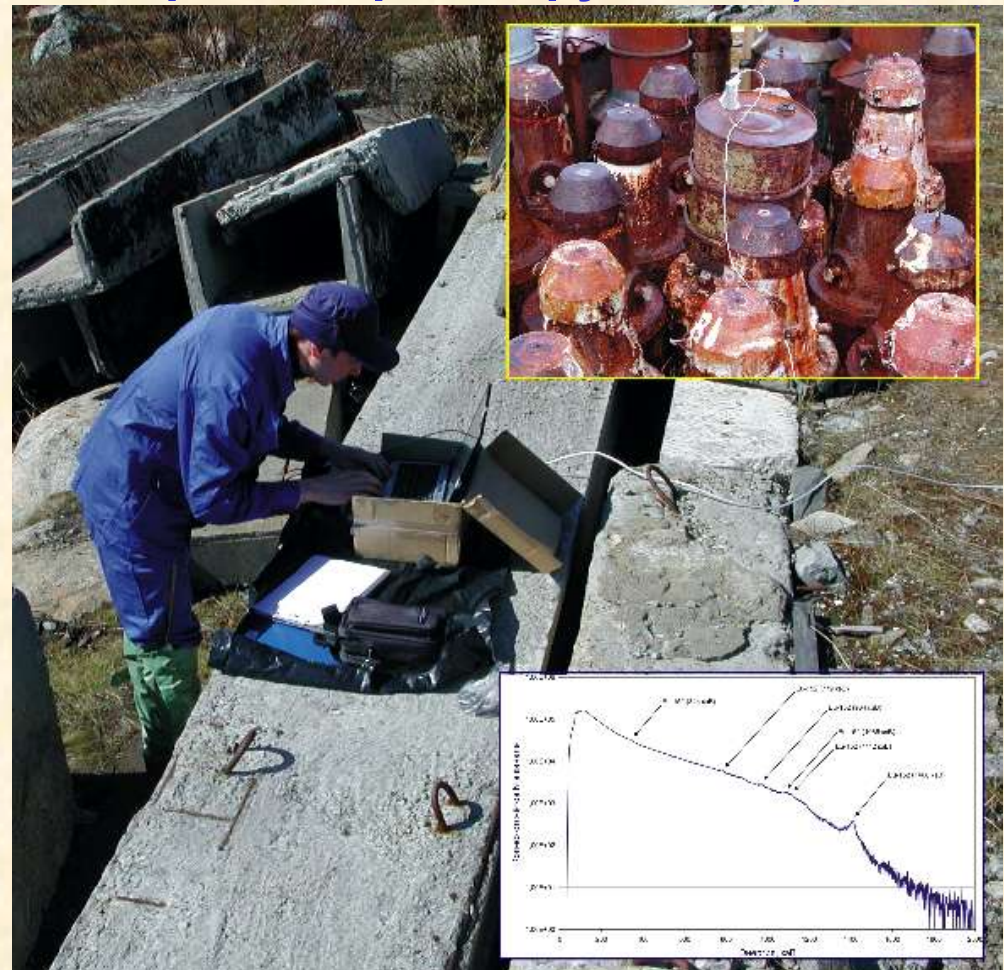


# Гамма-спектрометр СКС-20ЭЦ в коллиматоре



- 1 – датчик;
- 2 – блок управления;
- 3 – коллиматор с насадкой с коллимационным отверстием;
- 4 – геодезический штатив

**Портативный гамма-спектрометр**  
на основе детектора EV SPEAR с кристаллом CdZnT  
(производства фирмы Canberra)  
с анализатором КОЛИБРИ КС-003  
(производства ООО НИПП «Грин Стар Инструментс»)



## Методика определения активности крупногабаритных объектов



Программа ДВИНА позволяет определять активность объектов в виде параллелепипедов и цилиндров, исходя из величины мощности дозы и площади фотопика гамма-спектра.

Исходные данные:

- тип, размеры и материал заполнения объекта;
- тип датчика;
- нуклиды, находящиеся в исследуемом объекте и соотношение их активности;
- размеры и материал коллиматора, и его расположение по отношению к исследуемому объекту.

$$A = \frac{\sum_{1}^N \frac{P_{IЭ}}{P_{IP}}}{N}$$

где  $A$  - активность объекта;

$N$  - количество точек измерений;

$P_{IЭ}$  - экспериментально измеренная величина в  $I$ -ой точке;

$P_{IP}$  - расчетное значение функционала в  $I$ -ой точке для равномерного распределения активности по объему

**Спасибо  
за внимание**

**Василий Николаевич Аваев,  
ОАО «НИКИЭТ»**