

RUSSIAN RESEARCH CENTRE

"KURCHATOV INSTITUTE"



РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

"КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"

## **НТК «РЕАБИЛИТАЦИЯ»**

Отдел новых средств и методов диагностики

**Современная радиометрия и  
радиационные проблемы  
России**

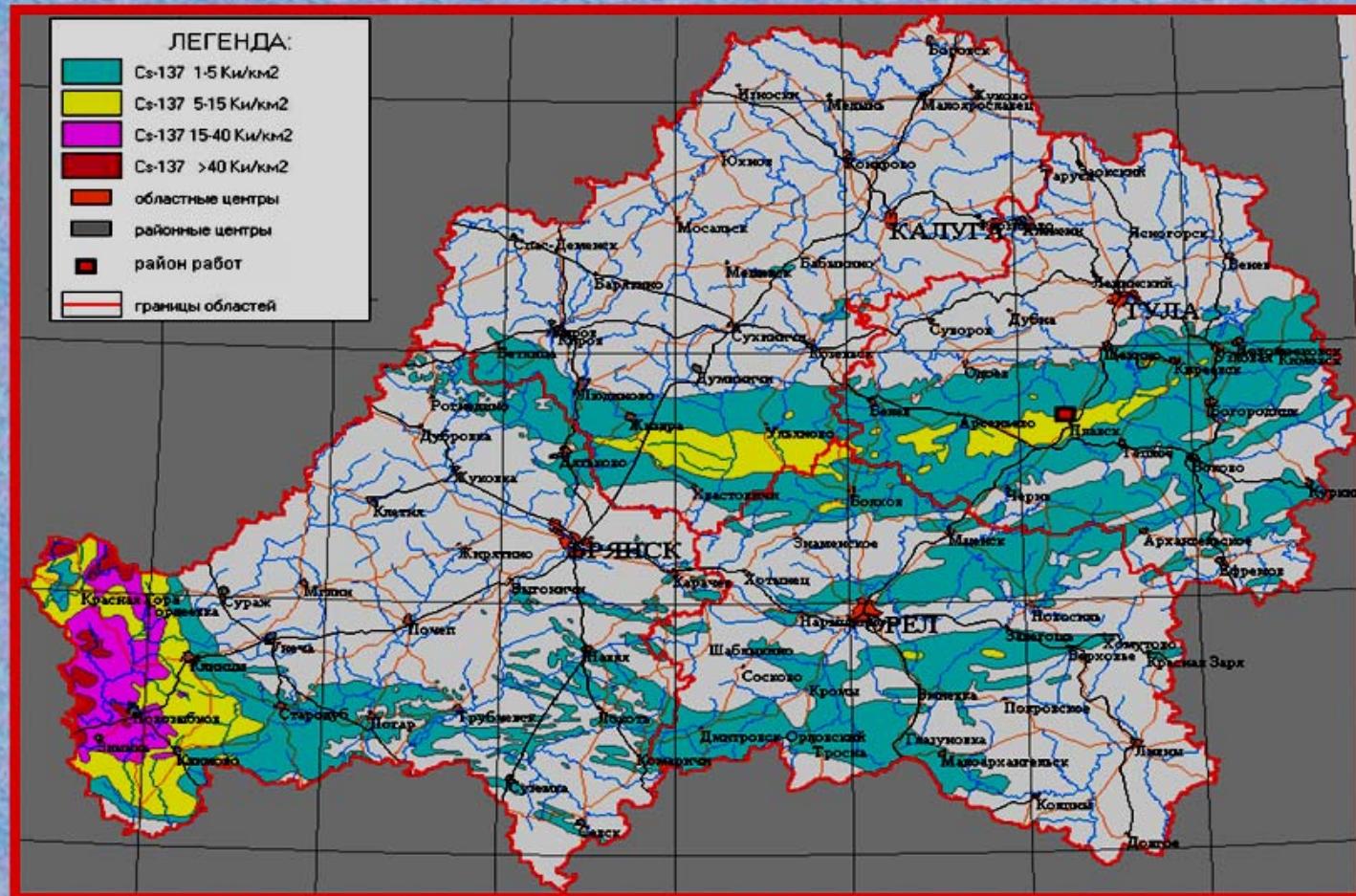
# Радиационные проблемы России

- **Аварийные ситуации**
- Авария 1957г (Кыштымская авария - взрыв емкости-хранилища ЖРО), Восточно-Уральский радиоактивный след
- Авария на ЧАЭС 1986г
- **Радиационное наследие России**
- Урановый проект (создание первой атомной бомбы)
- Проблема обращения с радиоактивными отходами (отложенные решения)

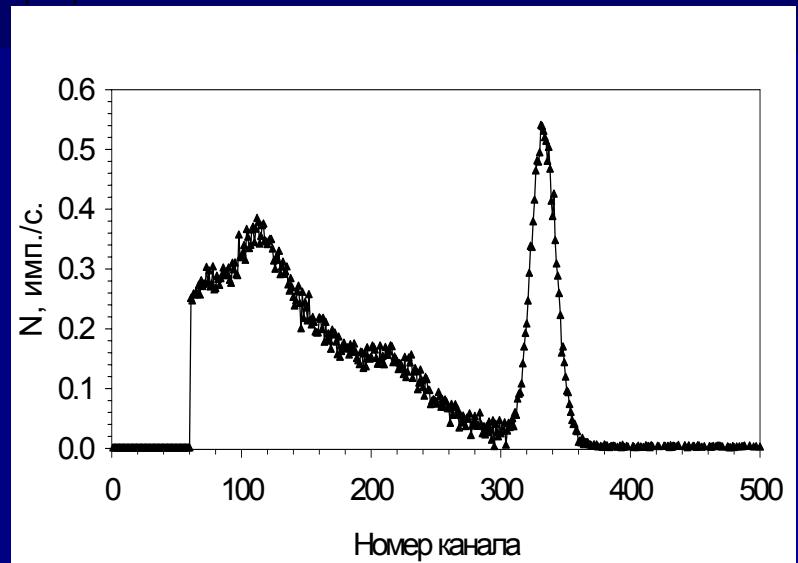
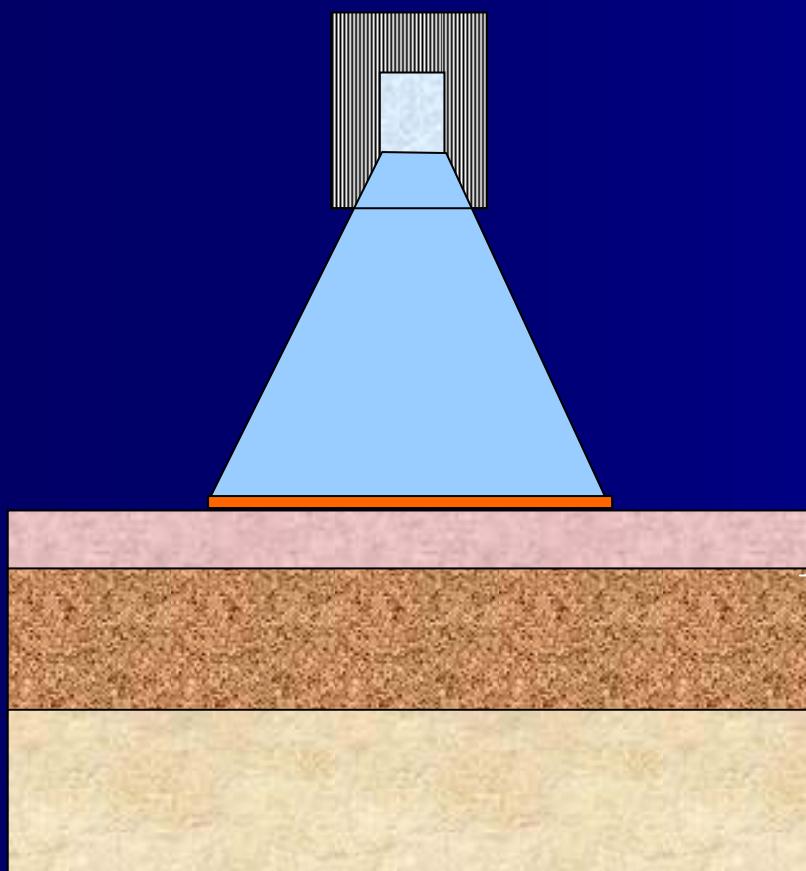
**Брянская обл. (11 800 км<sup>2</sup>), Калужская (4 900 км<sup>2</sup>),  
Тульская (11 600 км<sup>2</sup>), Орловская (8 900 км<sup>2</sup>)**

## **Радиоактивное загрязнение <sup>137</sup>Cs**

**Брянской, Тульской, Калужской и Орловской областей**



# Схема измерения радиометра «Корад»



# Внешний вид прибора



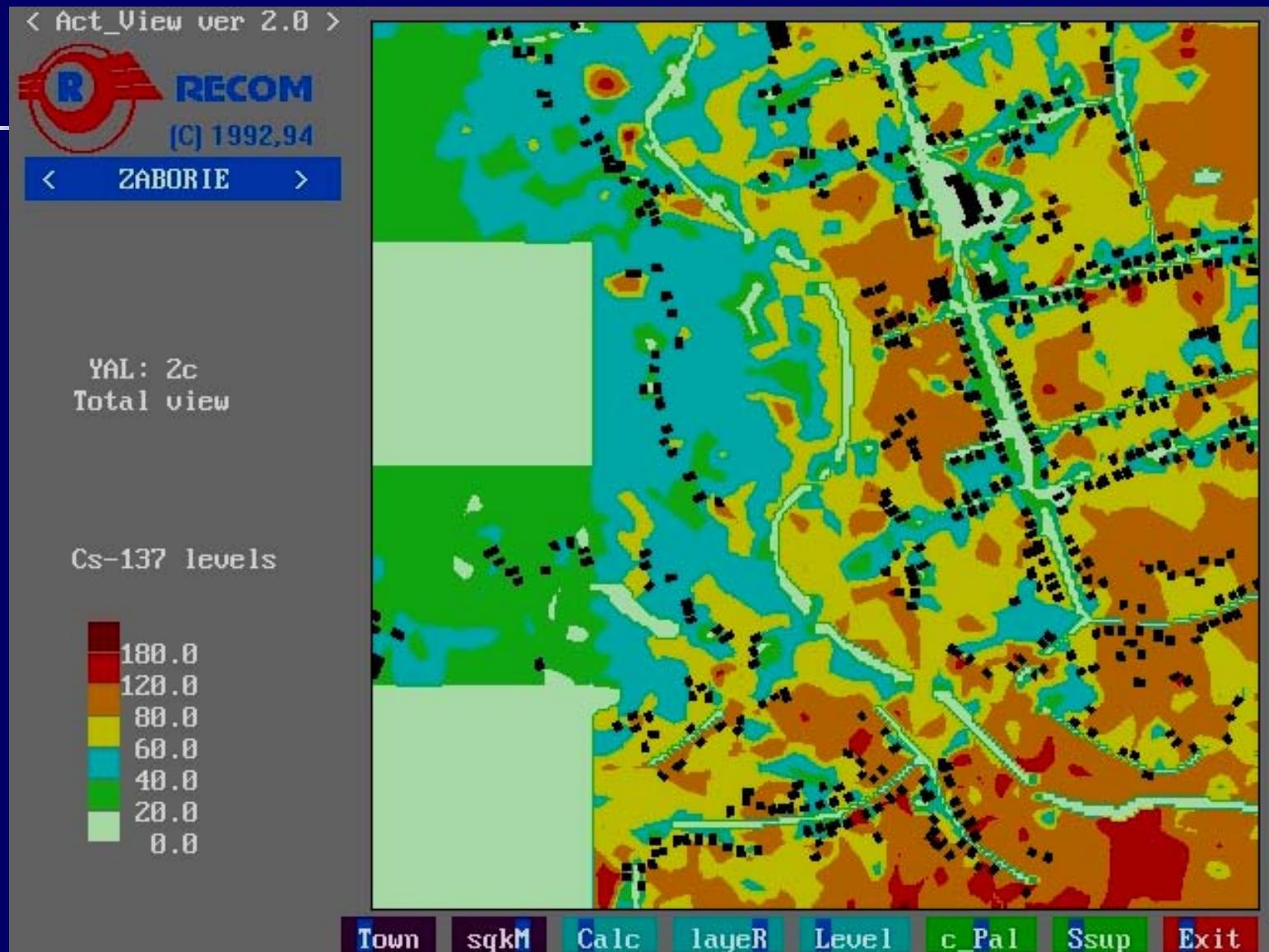
Диапазон энергий регистрируемого излучения – 60 – 3000кэВ;

Энергетическое разрешение по линии 662кэВ – не более 8%;

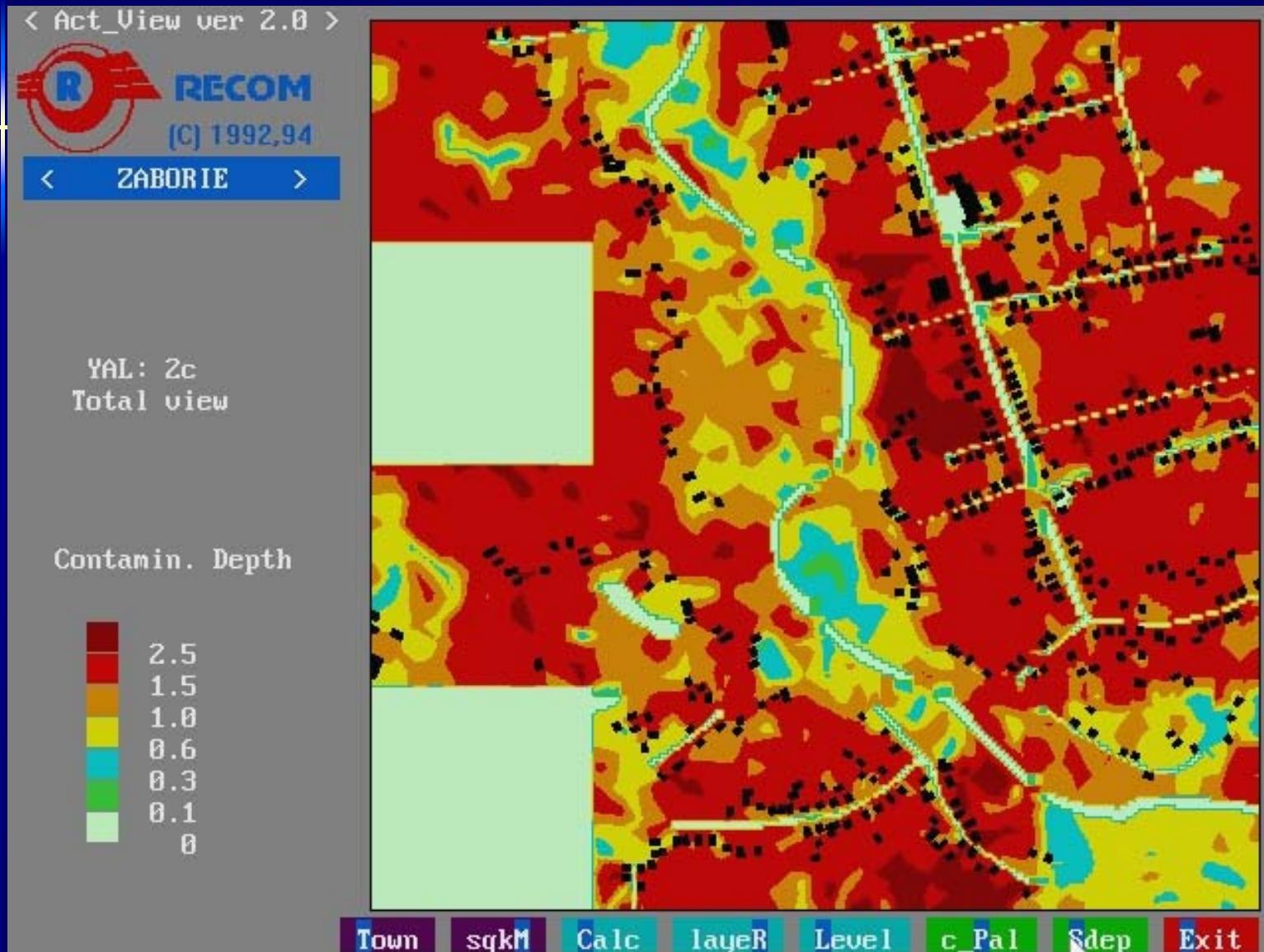
Чувствительность при определении поверхностной активности  $^{137}\text{Cs}$  ( $V_{\text{det}}=20\text{cm}^3$ ,  
 $\text{CsI(Tl)}$ )  $5,1\times\text{E-3, c}^{-1} \text{kБк}^{-1} \text{ м}^2$

Диапазон измерения поверхностной активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $\text{kБк м}^{-2}$   $(20\div1\times\text{E}5)$

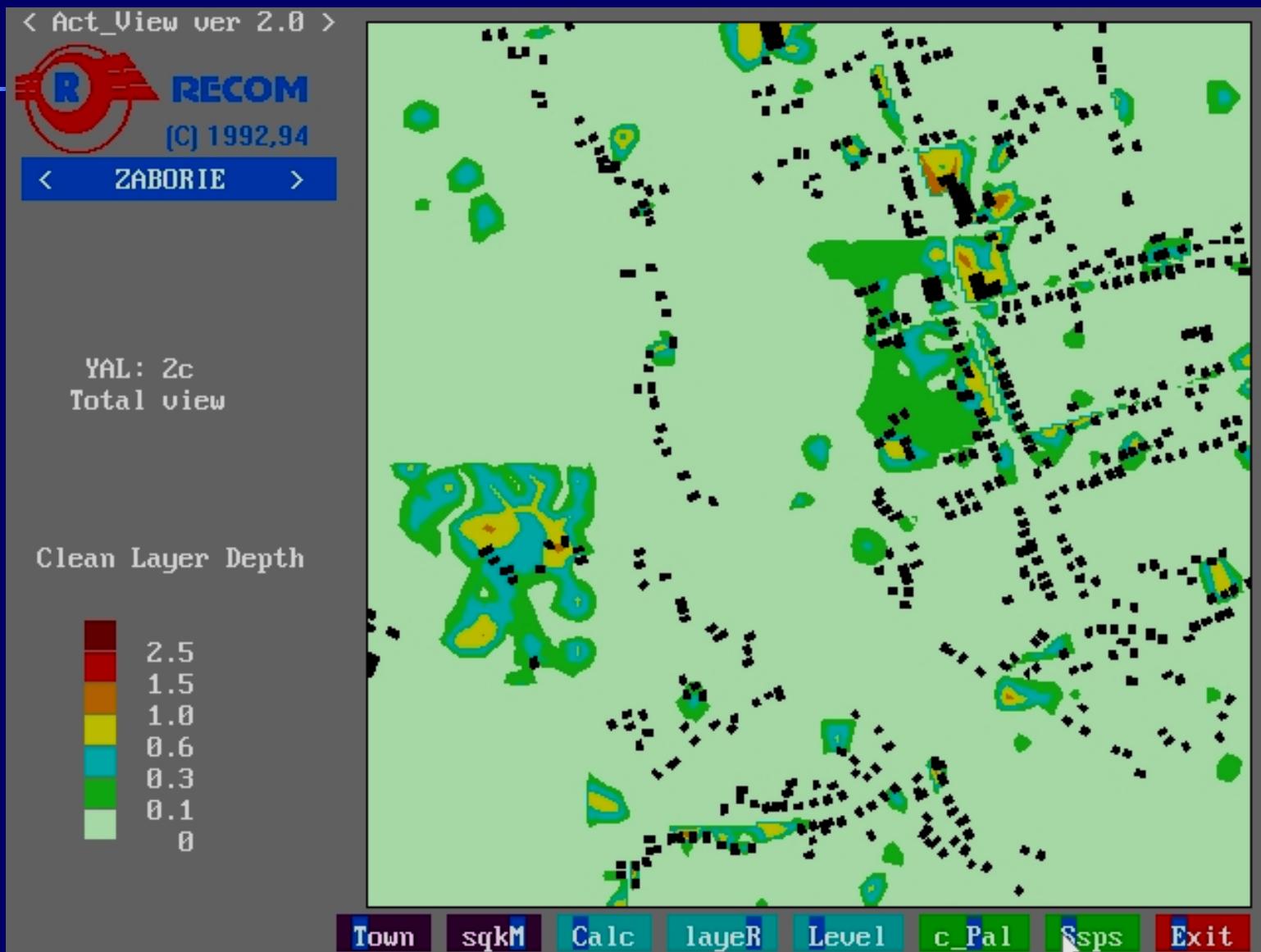
# Поверхностная активность $^{137}\text{Cs}$ , мкКи/м<sup>2</sup>



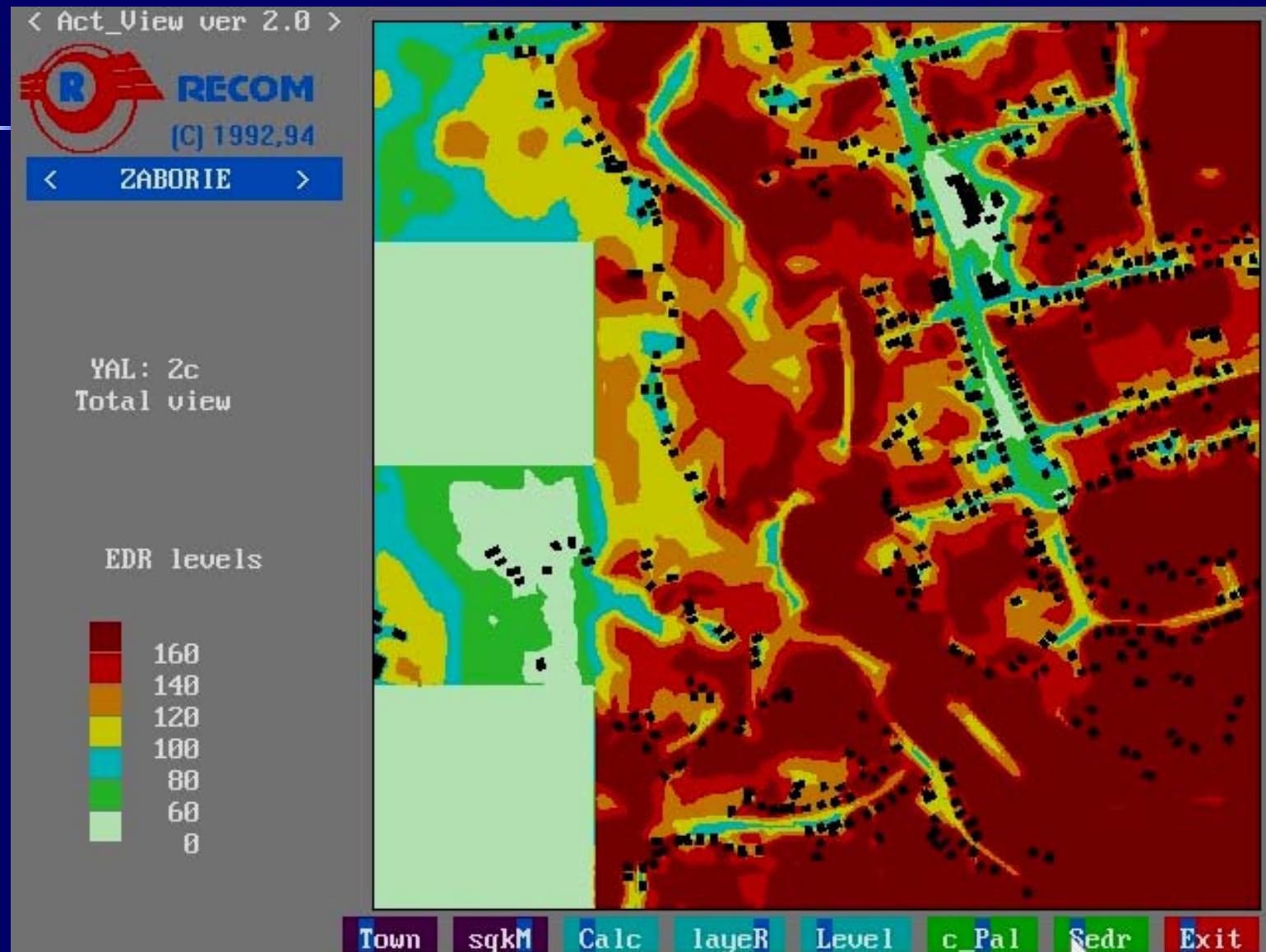
# Заглубление, дсп



# Толщина чистого слоя почвы, дсп



# Расчет мощности дозы, $\mu\text{R}/\text{ч}$

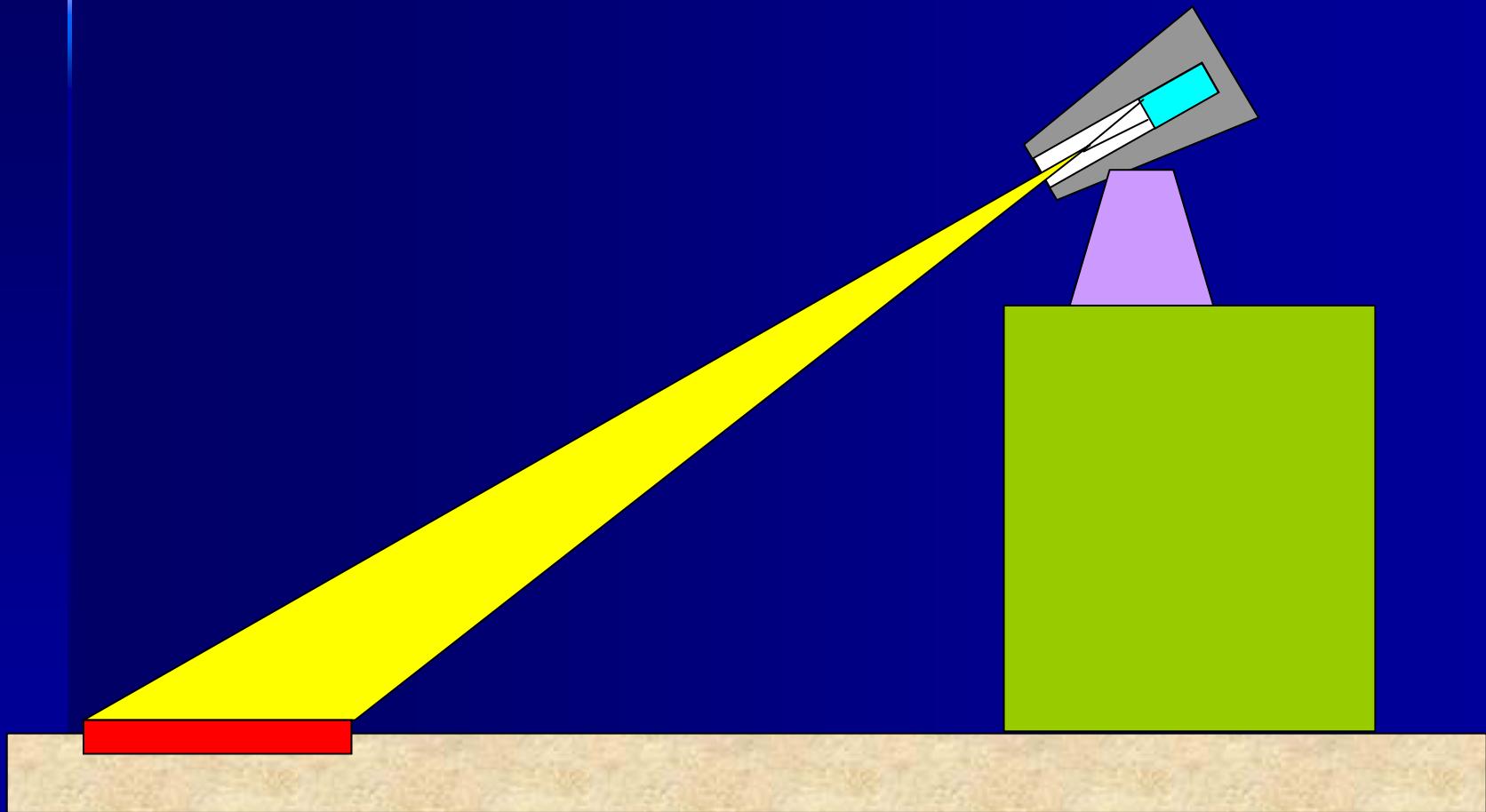


- Гамма-локатор (ГЛ) – это автоматизированная система дистанционного измерения радиоактивных загрязнений.
- ГЛ предназначен для
- оценки радиационной обстановки аварийных объектов,
- радиационного контроля территорий проведения реабилитационных работ по ликвидации хранилищ радиоактивных отходов

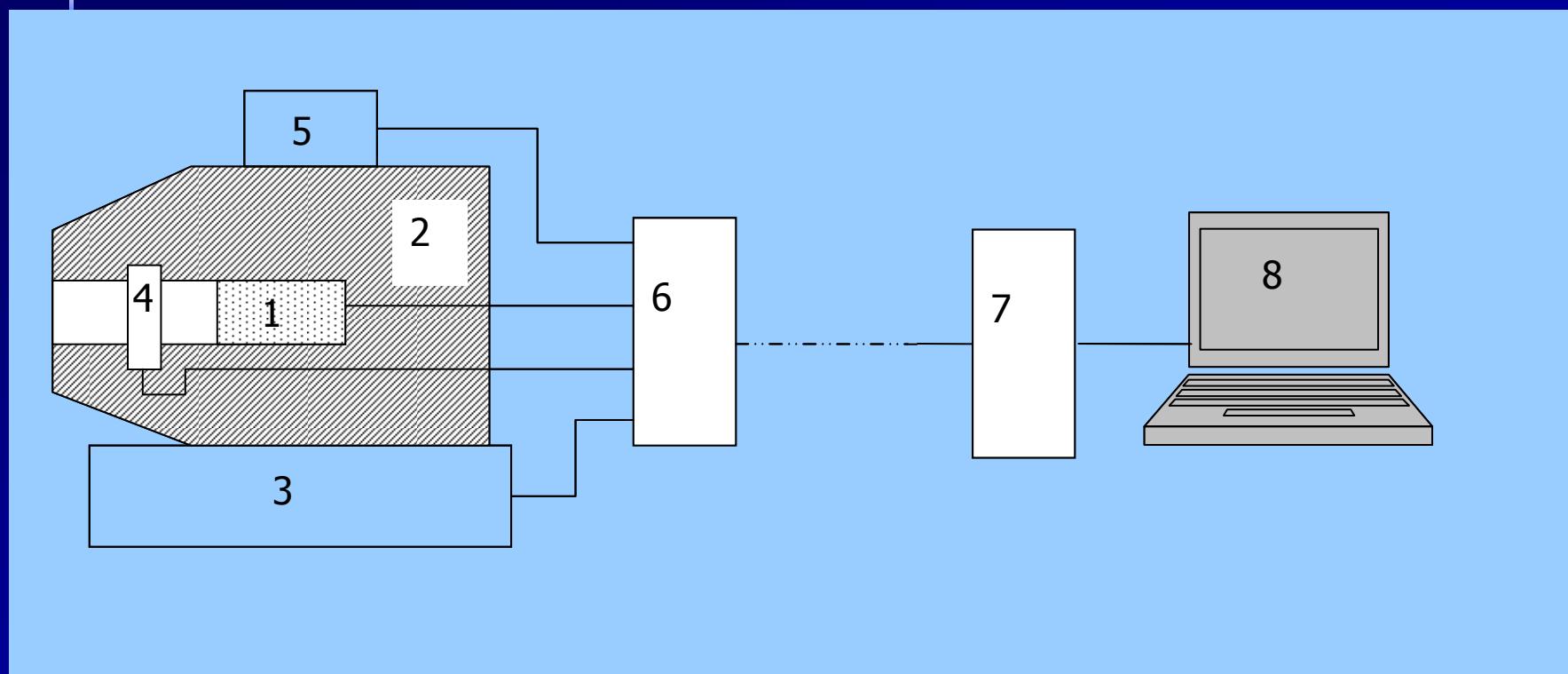
С помощью гамма-локатора решают  
две задачи:

- 1 – оценка поверхностной активности загрязнений объекта обследования;
- 2 – реконструкция мощности дозы внутри обследуемого объекта

# Принцип работы гамма-локатора



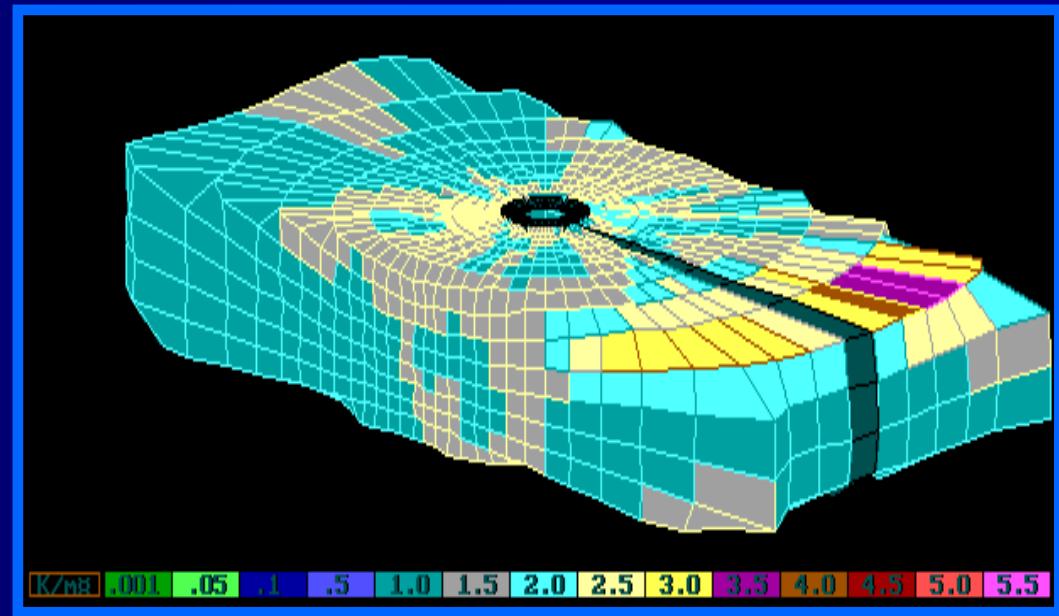
# Система дистанционных измерений радиоактивных загрязнений – гамма-локатор



# Первый компьютерно-управляемый гамма локатор

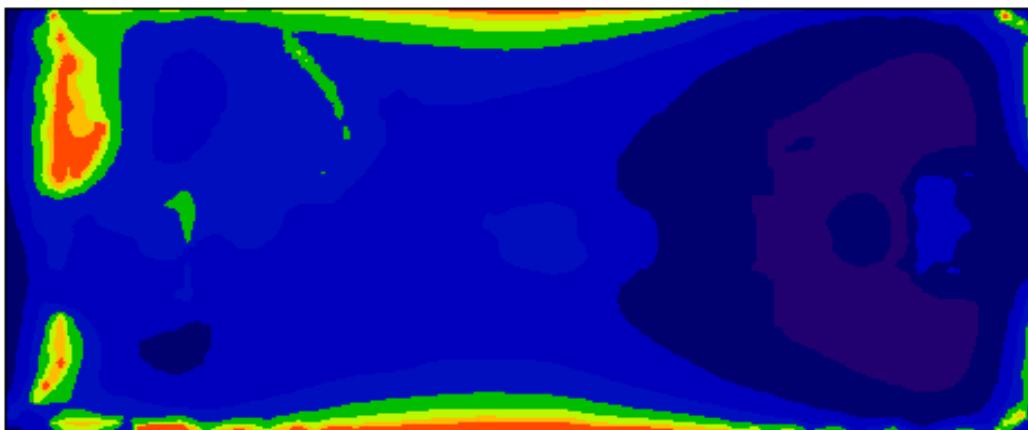


Измерения в машинном зале 4-го блока ЧАЭС в 1992 году

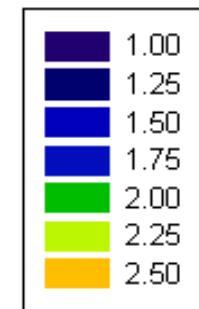


# Машзал IV блока ЧАЭС

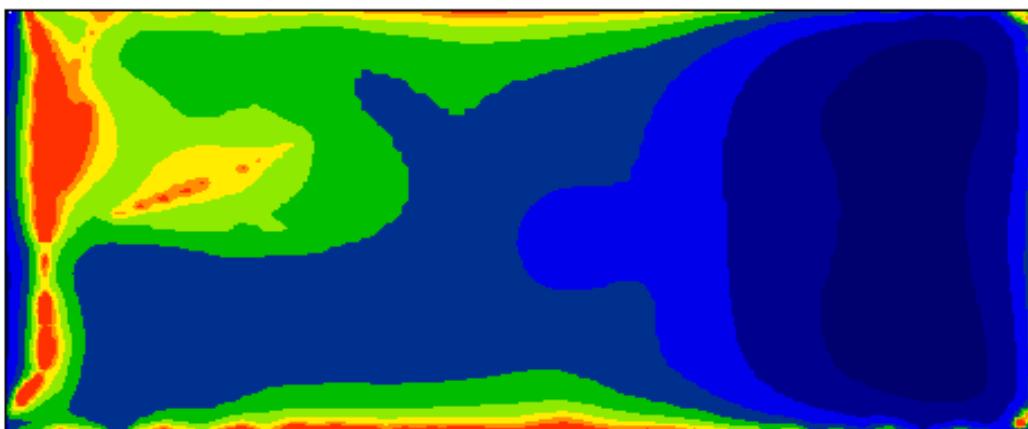
А



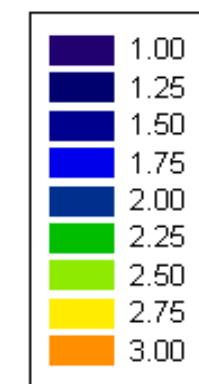
$P, \text{ мР/ч}$



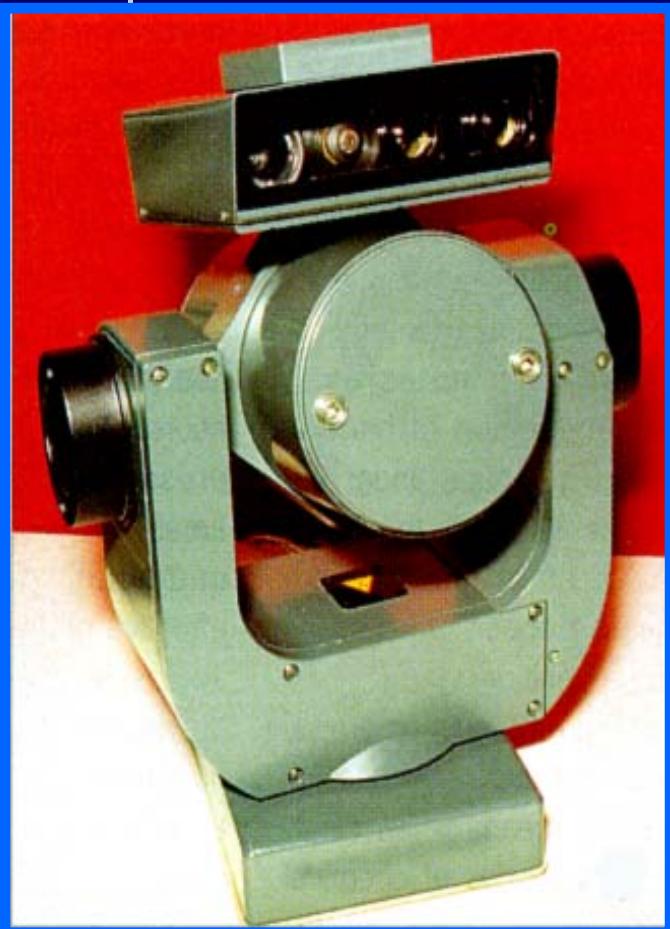
Б



$P, \text{ мР/ч}$



# Две версии гамма-локатора

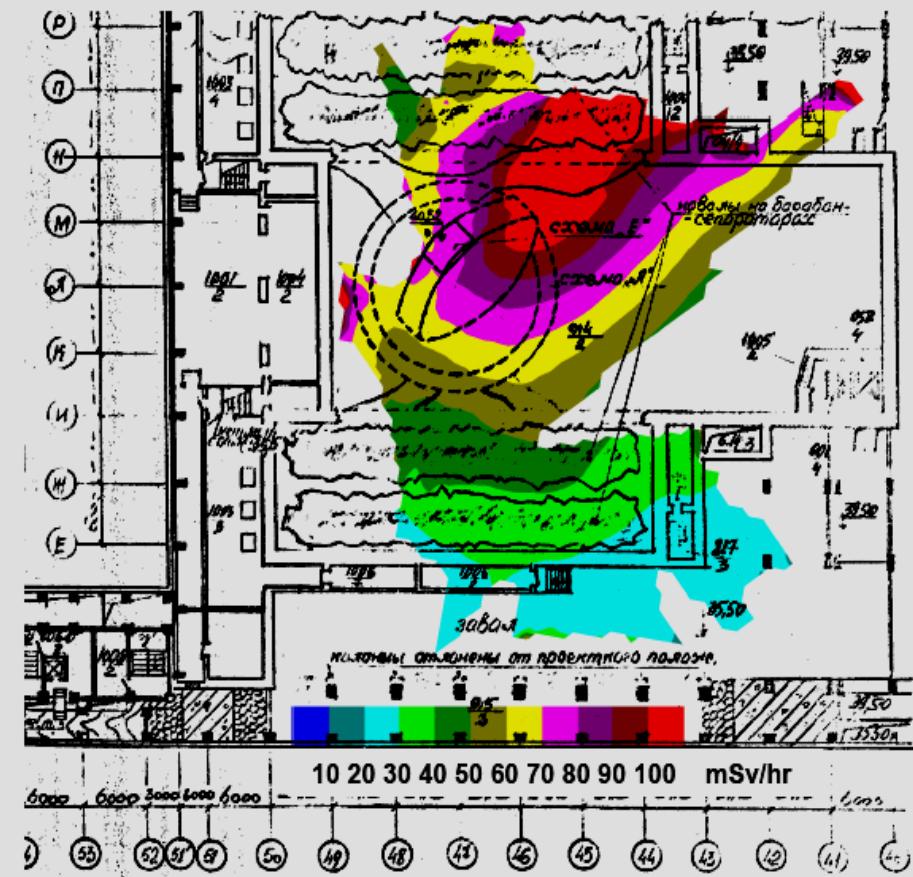


Прибор с видеокамерой  
и лазерным  
дальномером.  
Изготовлен для  
немецкого центра  
ядерной аварийной  
службы - KNG  
(Карлсруэ).1994

Прибор с  
videокамерой.  
Изготовлен для  
Смоленской  
АЭС для  
установки на  
передвижной  
системе.



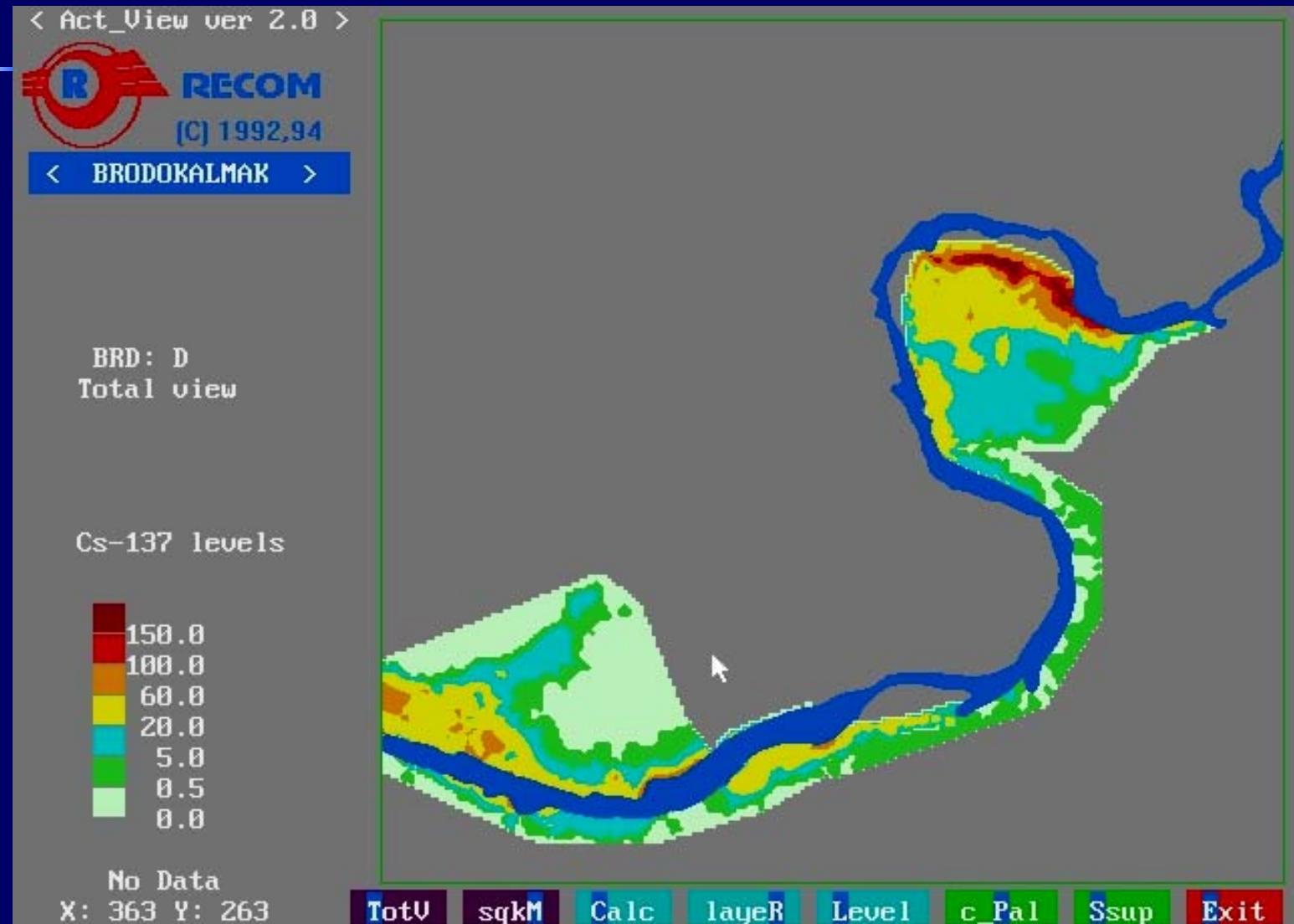
# Измерения в ЦЗ 4-блока ЧАЭС ноябрь 1996



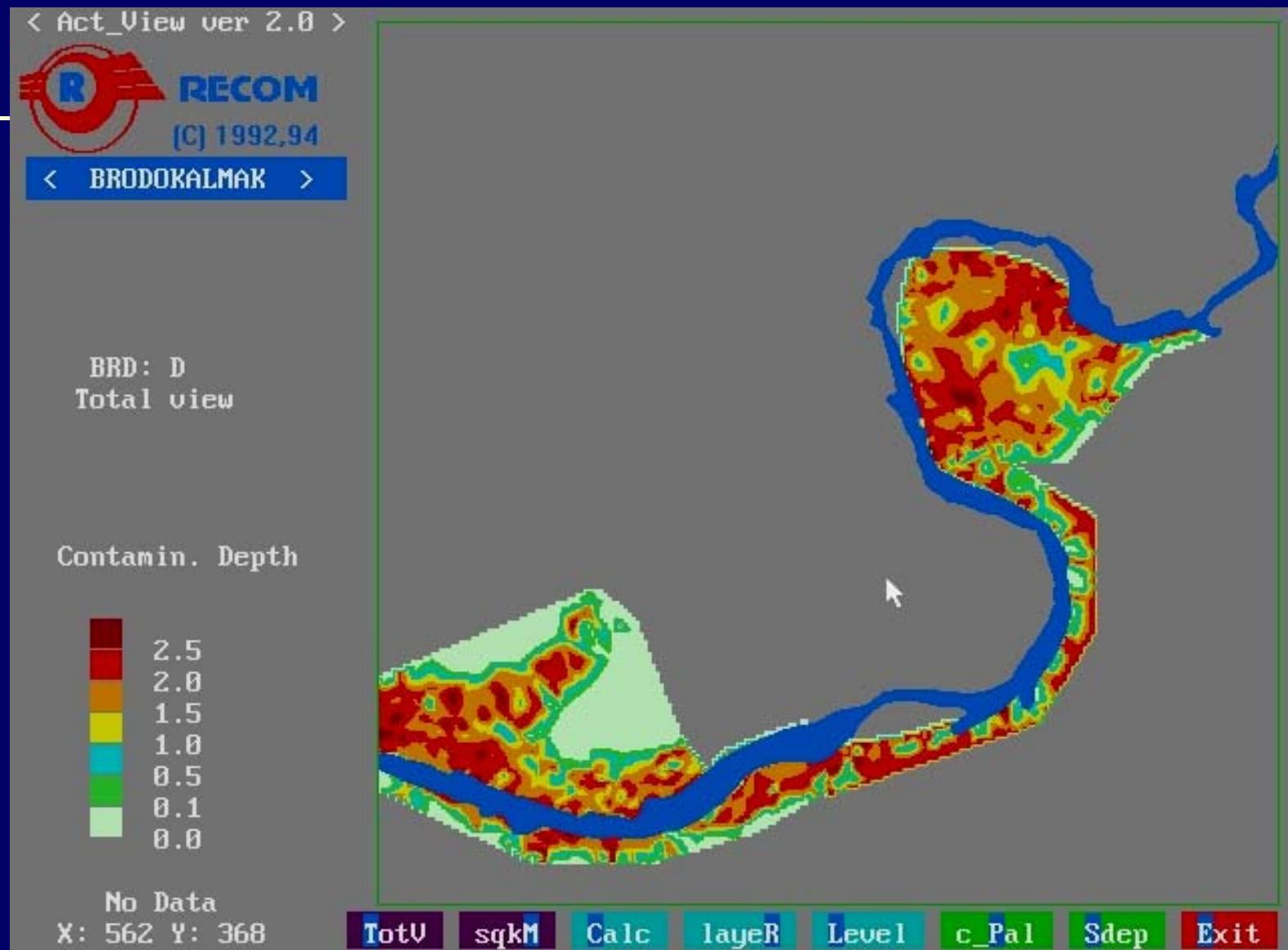
# Радиационное наследие России

- Урановый проект (создание первой атомной бомбы) Завод №817 (ПО «Маяк»)
- Первый промышленный реактор по производству  $^{239}\text{Pu}$
- Радиохимический объект для выделения и получения металлического  $^{239}\text{Pu}$
- ЖРО радиохимического производства сбрасывались в р. Теча (1949-1951 гг.)

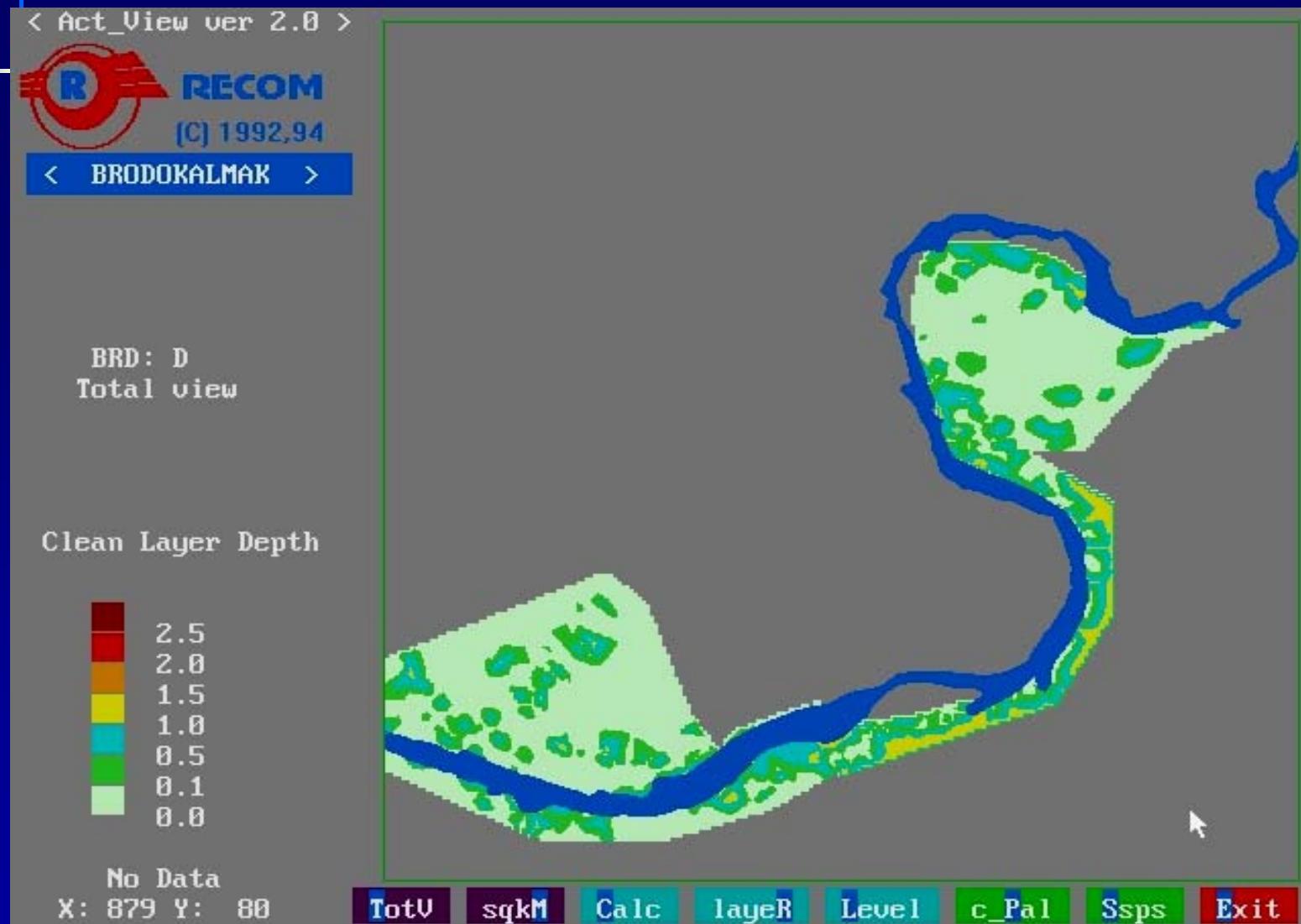
# P. Теча (поверхностная активность, мкКи/м<sup>2</sup>)



# Р. Теча (заглубление, дсп)

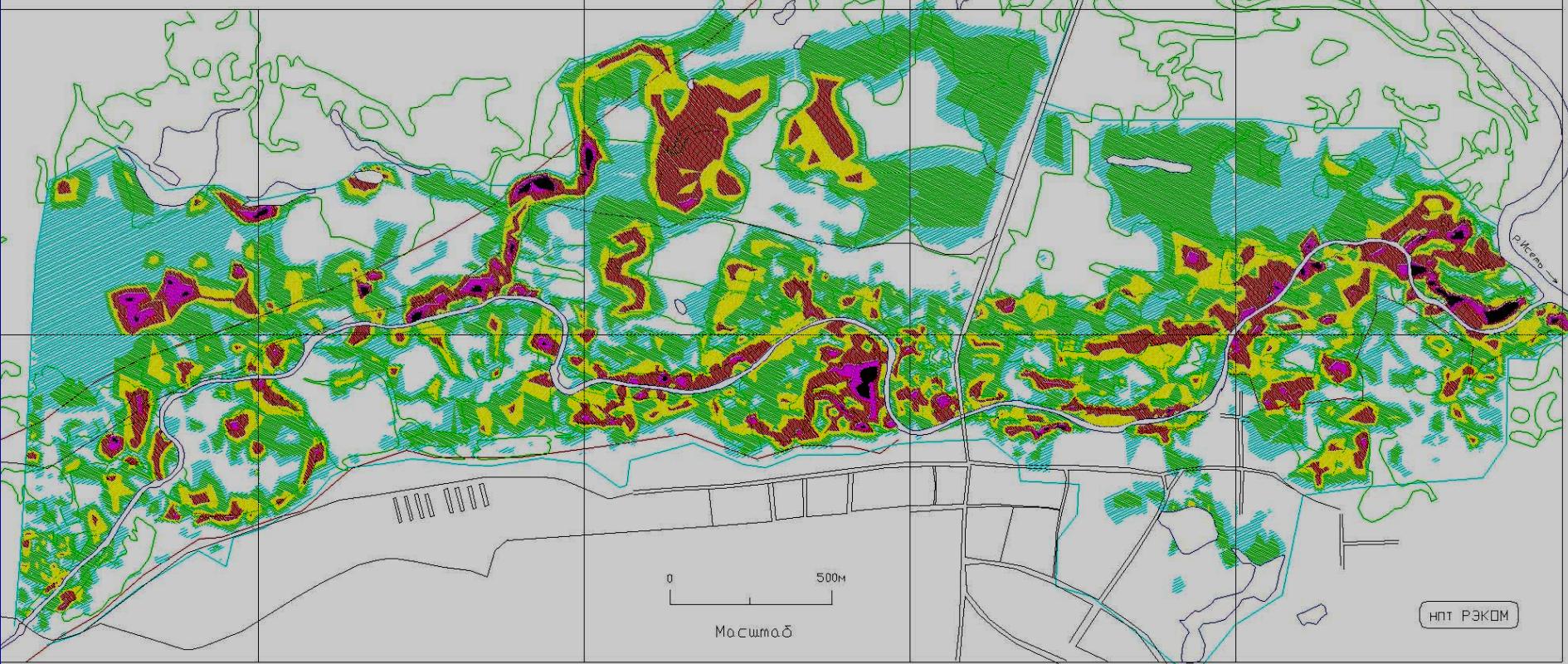
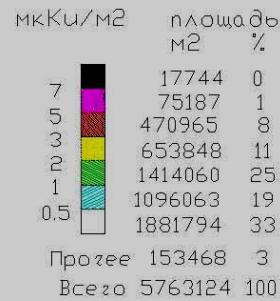


# P. Теча (толщина чистого слоя, дсп)



# р.Теча (Затеченское)

ЗАТЕЧЕНСКОЕ  
Сентябрь 1996  
ЗАПАС Cs-137



# Внешний вид прибора

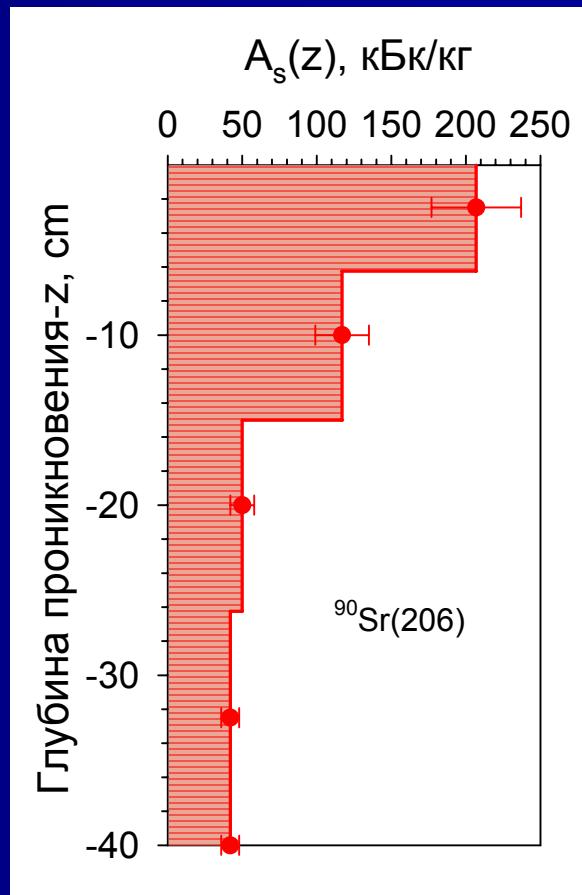
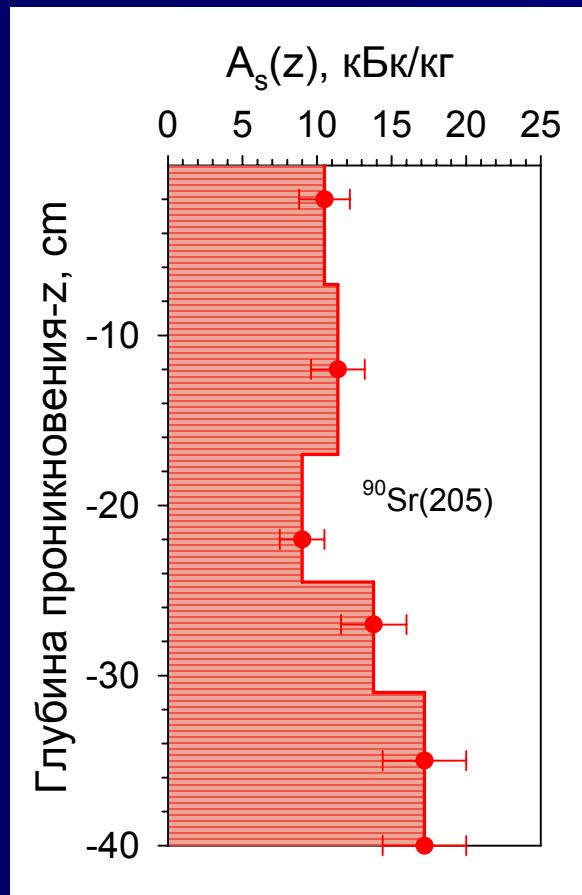


- характеристики СДБИ:
  - МИА – 60 Бк/кг
  - МИА – 75-100Бк/кг ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ )
  - МИА – 0,5 Бк (аэрозольные фильтры)
  - Чувствительность детектора:
    - $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}\text{Бк}^{-1}\text{кг}$  (удельная активность)
    - $0,19 \text{ с}^{-1}\text{Бк}^{-1}$  (активность тонких счетных образцов)
- Чувствительная площадь  
детектора – 50 см<sup>2</sup>

# Измерения образцов почвы с помощью бета-радиометра в полевых условиях



# Распределения удельной активности $^{90}\text{Sr}$ по глубине в почве (санитарно-защитная зона ПО «Маяк», р-н Метлино)



# Метлино



14/10/2008

# Метлино



- 1951г. Берег пруда – до 5Р/ч
- Приусадебные участки у реки – 3,5Р/ч
- На улице и в домах – 10-15Р/ч
- 1952г. Урез воды – до 50мР/ч
- Территория населенного пункта – 0,6мР/ч

# Метлино



- 1955-1960гг.  
Переселено 7500  
чел. из 19  
н/пунктов.
- У некоторых  
жителей сел  
Метлино и Теча-  
Брод доза внешнего  
и внутреннего  
облучения  
достигала 200  
бэр/год
- Было  
зарегистрировано  
935 случаев  
лучевой болезни

# Муслюмово (в 1951 г. проживало 3000 жителей)



08/10/2008

# Муслюмово



09/10/2008

# Муслюмово



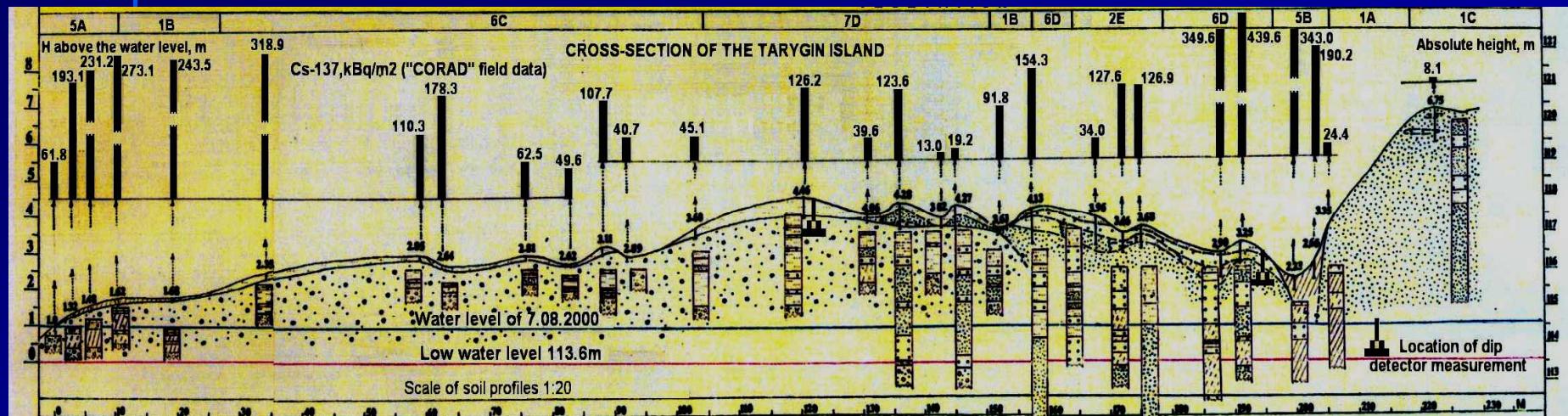
# Карабай

- 28 октября 1951г. ЖРО стали сливать в озеро Карабай.
- 1967 г. Вынос ветром 600 Ки ( $^{137}\text{Cs}$ )
- Настоящее время – 120 млн. Ки (40%  $^{90}\text{Sr}$  и 60%  $^{137}\text{Cs}$ )
- Радиационный фон озера достигал 72 Р/ч
- С 1986 г. - работы по засыпке водоема

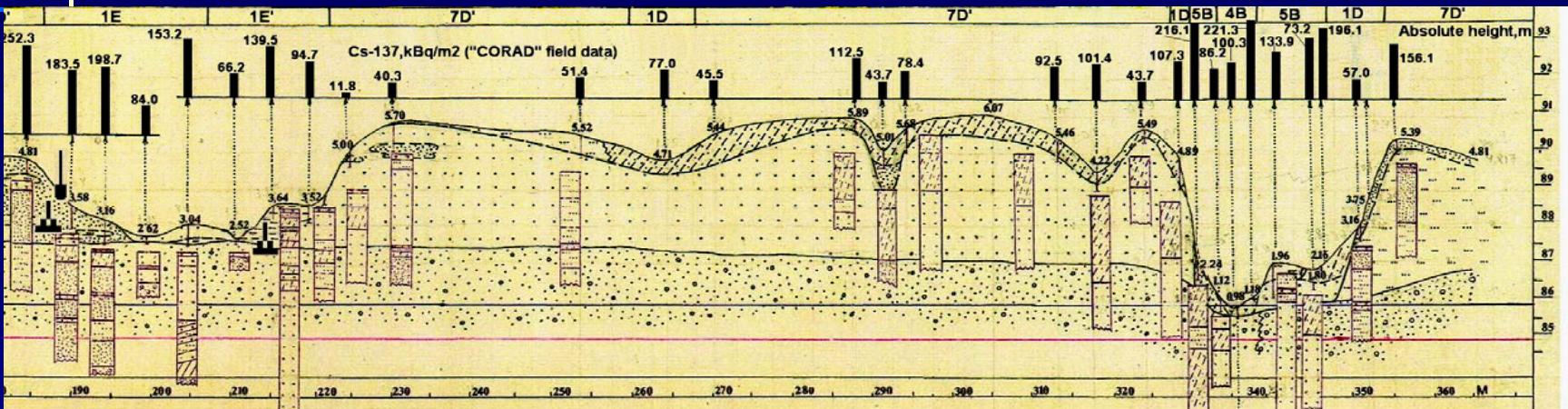
# Кыштымская авария

- 29 сентября 1957 г. На радиохимическом заводе взорвалась емкость – хранилище высокоактивных отходов (банка №14)
- Емкость содержала 70-80 тонн ЖРО общей активности 20 млн. Ки (90% активности пришлось на территорию химкомбината. Ликвидаторам аварии была установлена норма – 2Р/смена)
- 2 млн. Ки выпало на площади 1000 км<sup>2</sup> ( $\sim 10 \times 100 \text{ км}^2$ )
- Причина: Недостаточное охлаждение банки №14 привело к осушению раствора и разогреву нитратно - ацетатного осадка до температуры 330°C
- Из 23 окрестных деревень было эвакуировано 10200 человек (Бердяниш, 40-50 мкР/с (144-180 мР/ч))
- 28 апреля 1966 г. На территории Восточно-Уральского радиоактивного следа был создан государственный заповедник (После аварии в начале радиоактивного следа на площади 1,5 км<sup>2</sup> поверхностная активность стронция достигала 90700 Ки/км<sup>2</sup>)

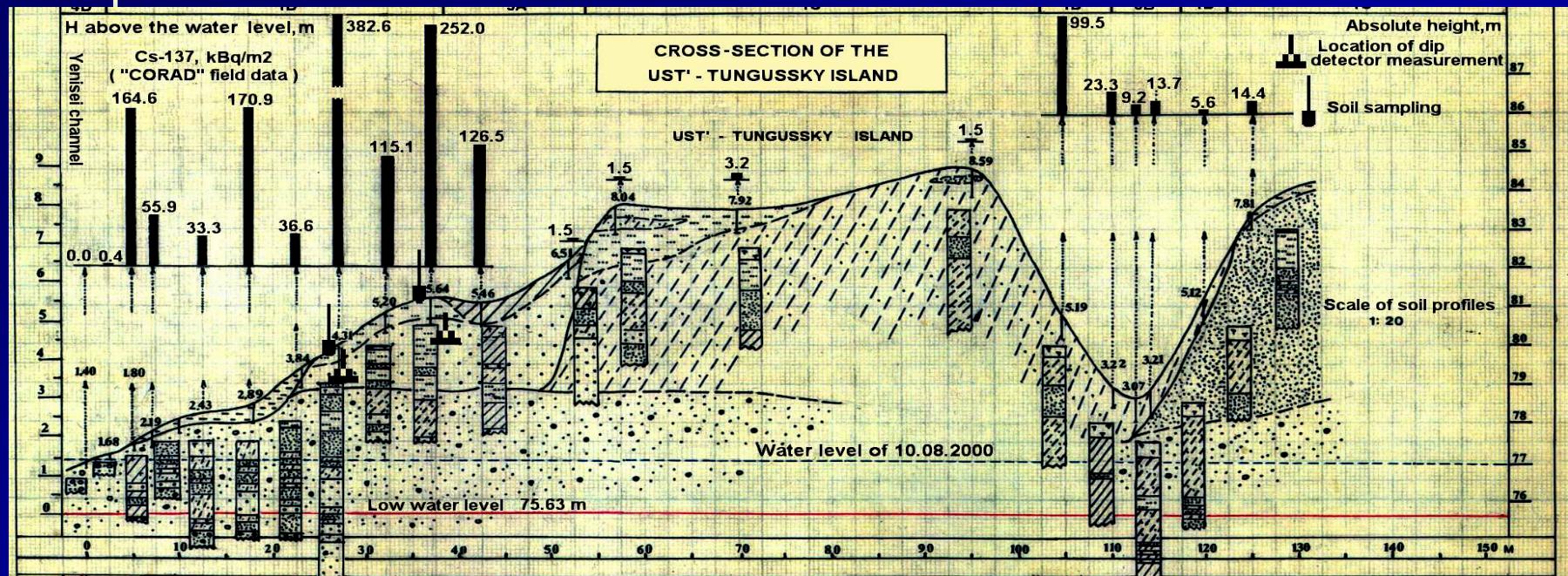
# О. Тарыгин (р. Енисей)



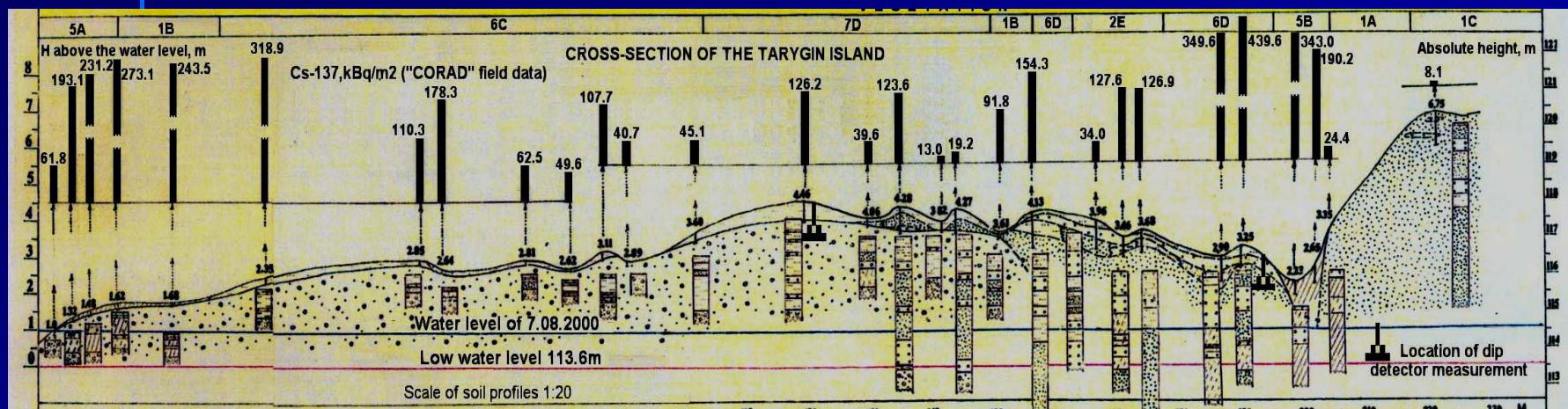
# о.Казаченский (Енисей)



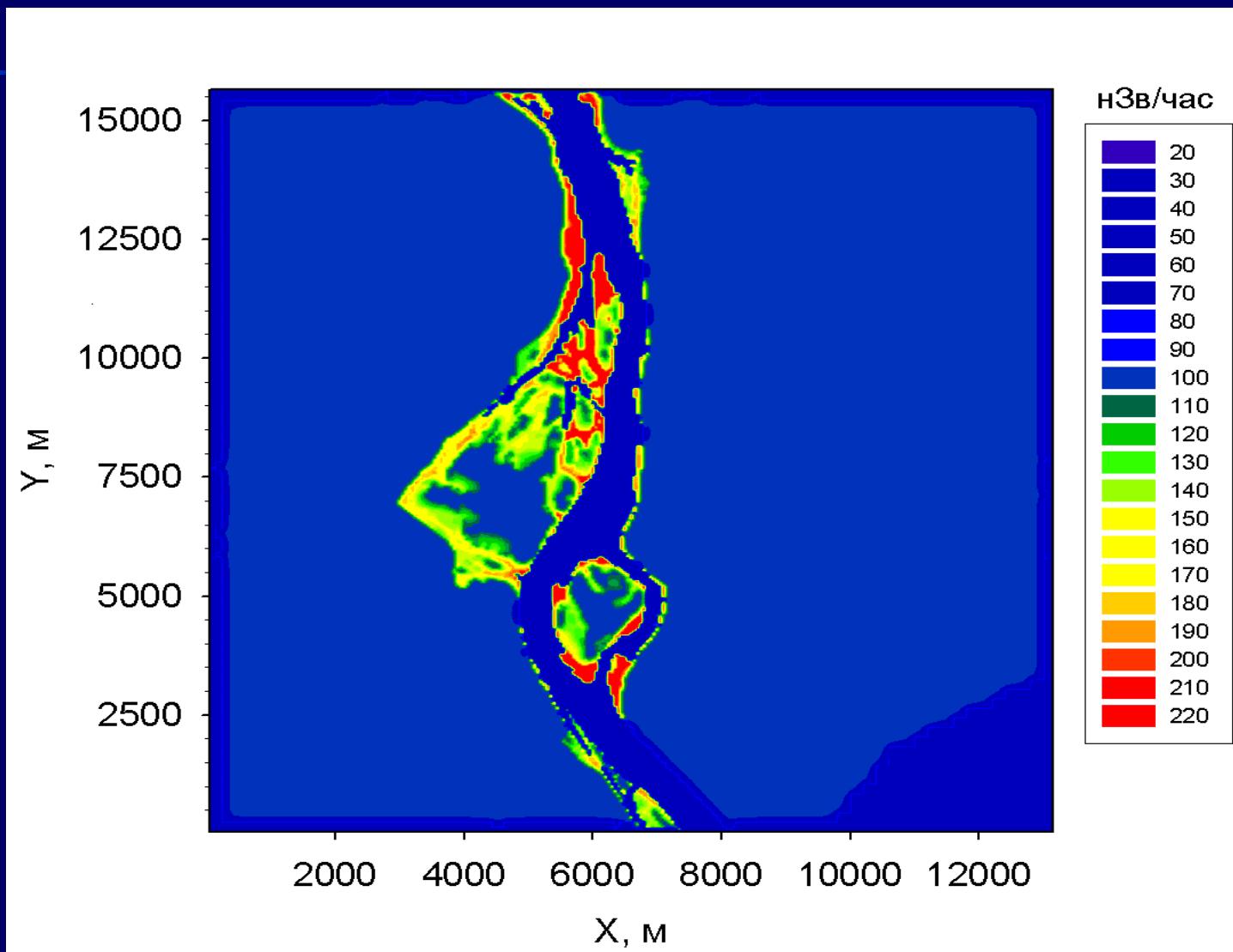
# о. Усть-Тунгусский(р.Енисей)



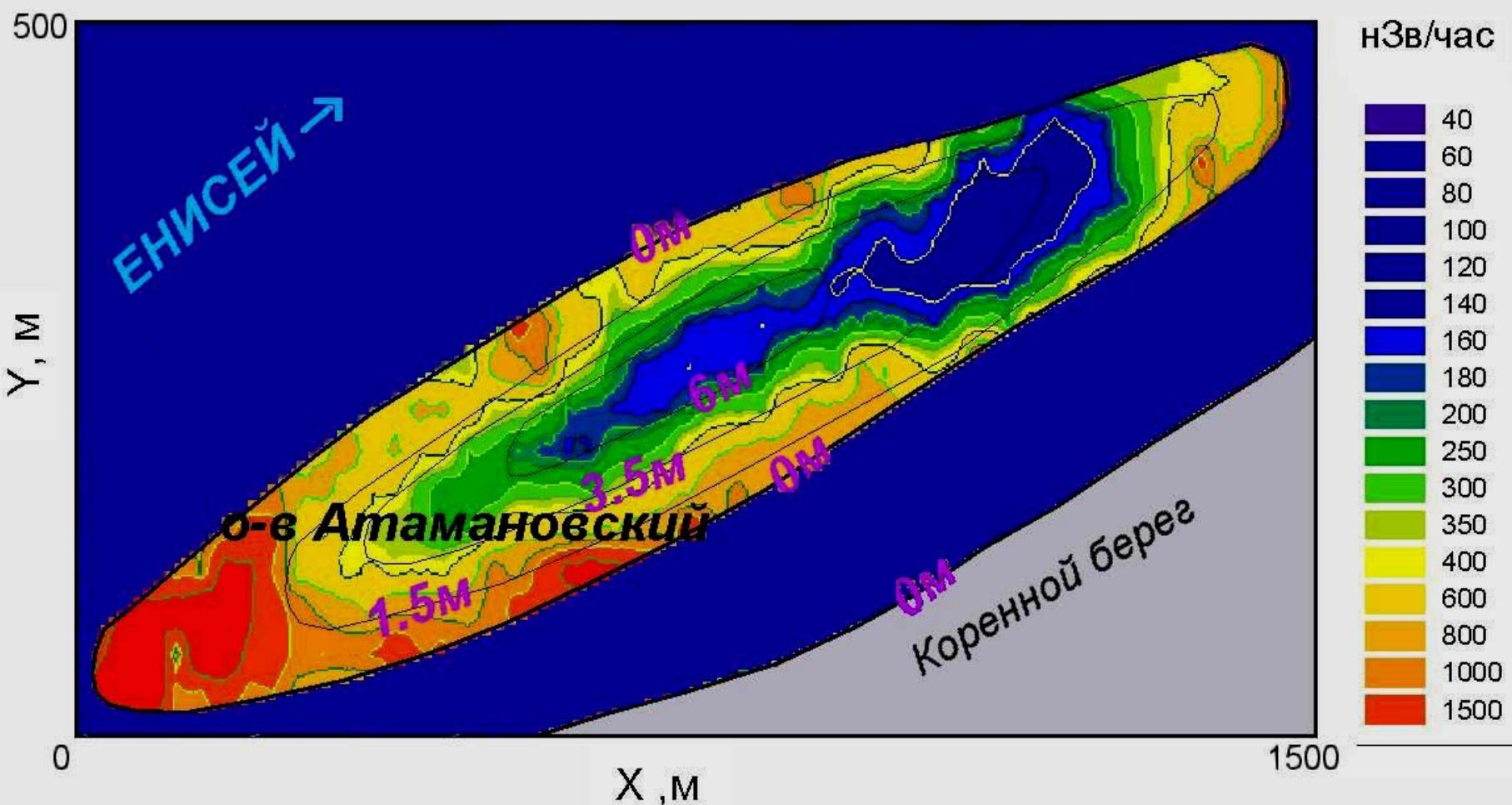
# о.Тарыгин (р.Енисей)



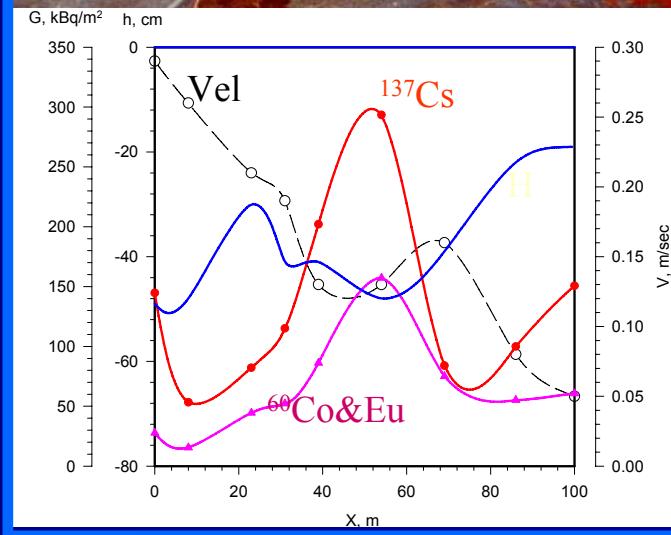
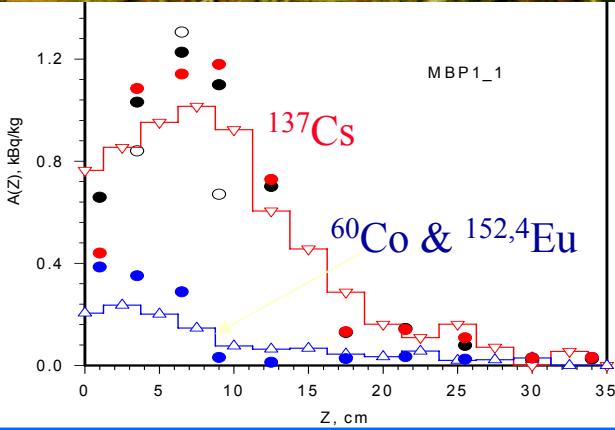
# Распределение МЭД на острове Казачий (р.Енисей)



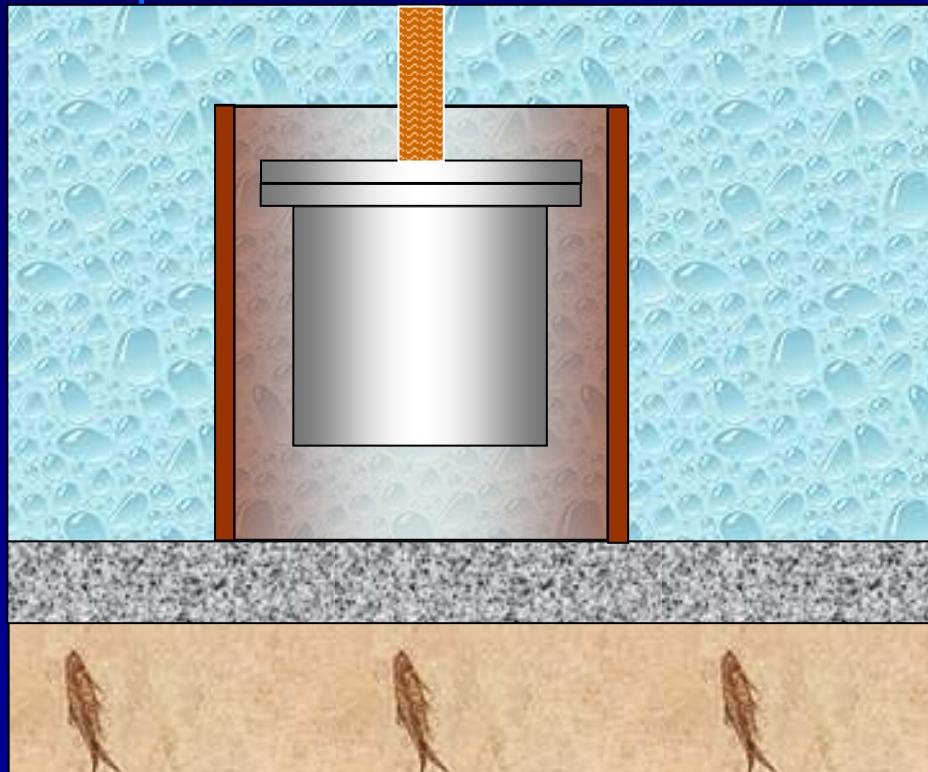
# Распределение МЭД на острове Атамановский



# Радиометры для экологических измерений

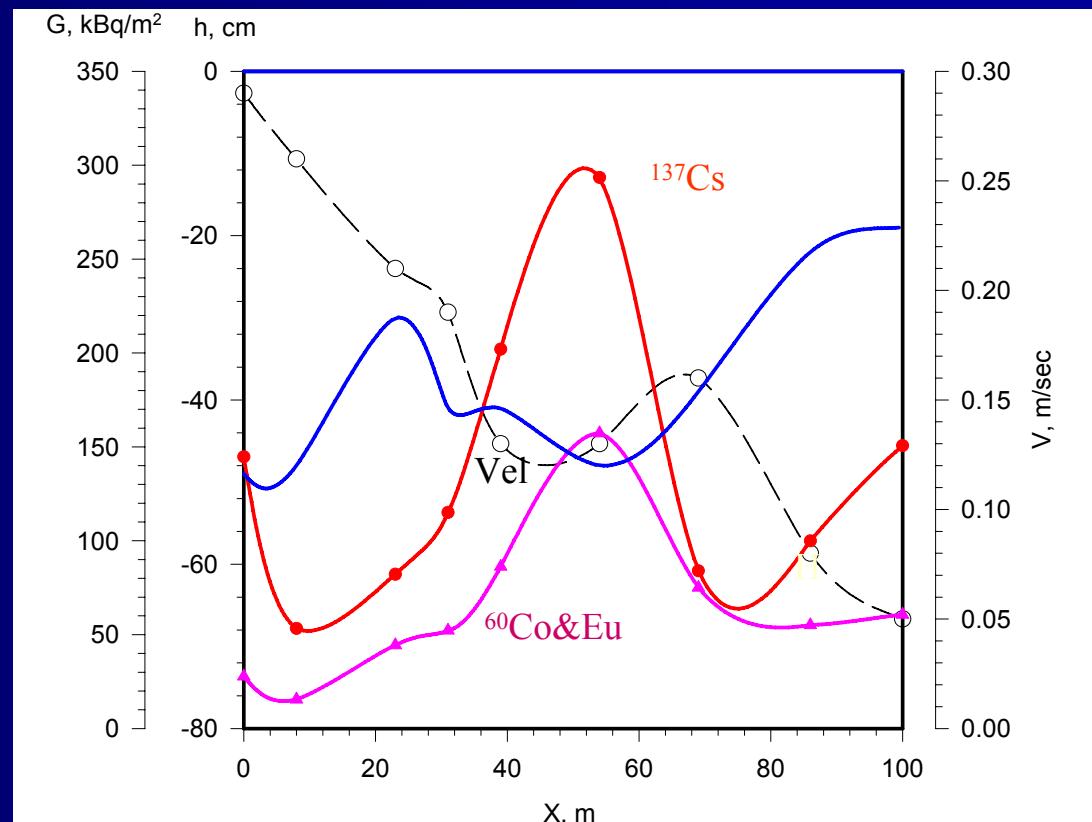


# Радиометр с подводным погружным детектором

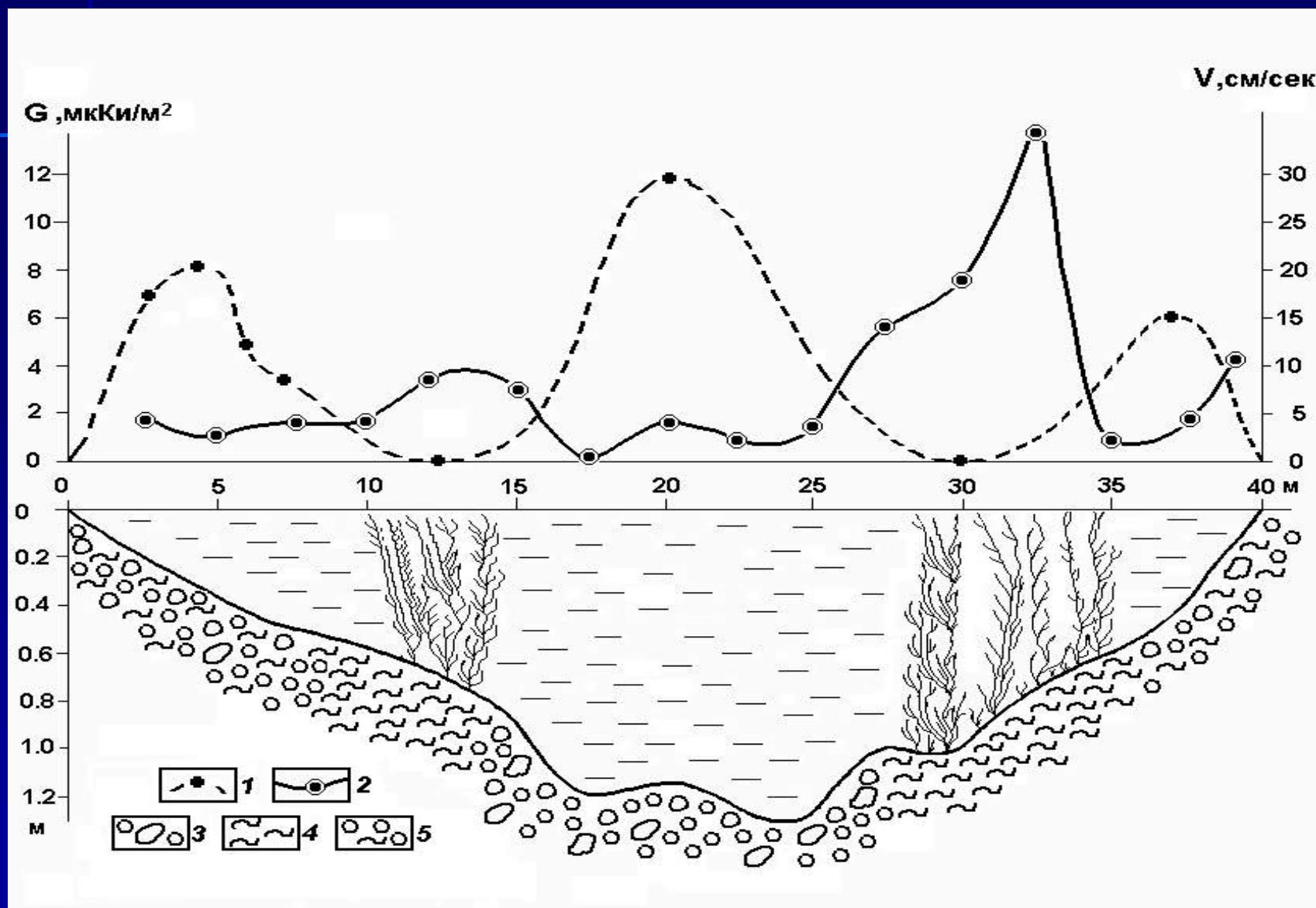


- Пространственное разрешение  $\sim 50\text{см}$
- Диапазон измерения –  $20 \div 10^5 \text{kБк/м}^2$
- Минимальная измеряемая активность  $^{137}\text{Cs}$   
(время измерения 300с и стат.составляющая погрешности 30%)  
 $\sim 20 \text{ кБк/м}^2 (\sim 0,5 \text{ Ки/м}^2)$

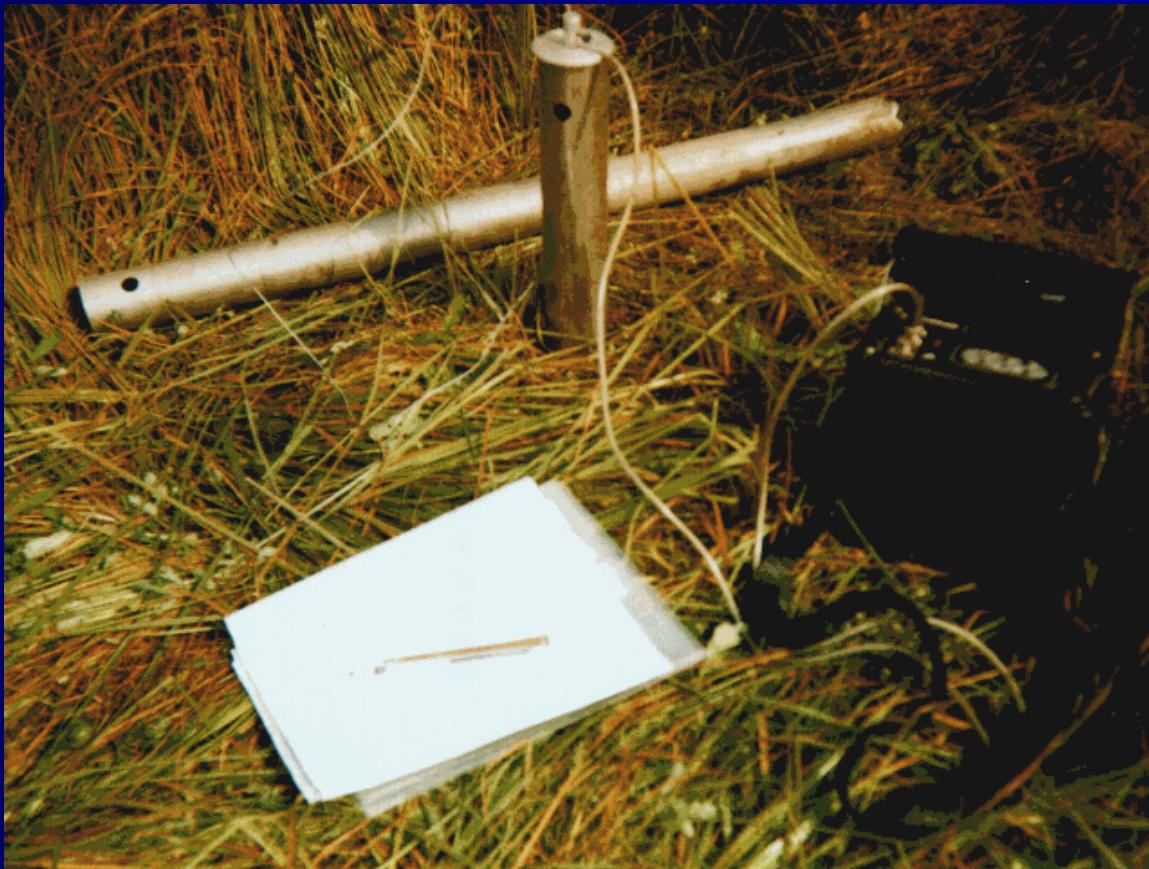
# Радиометр с подводным погружным детектором



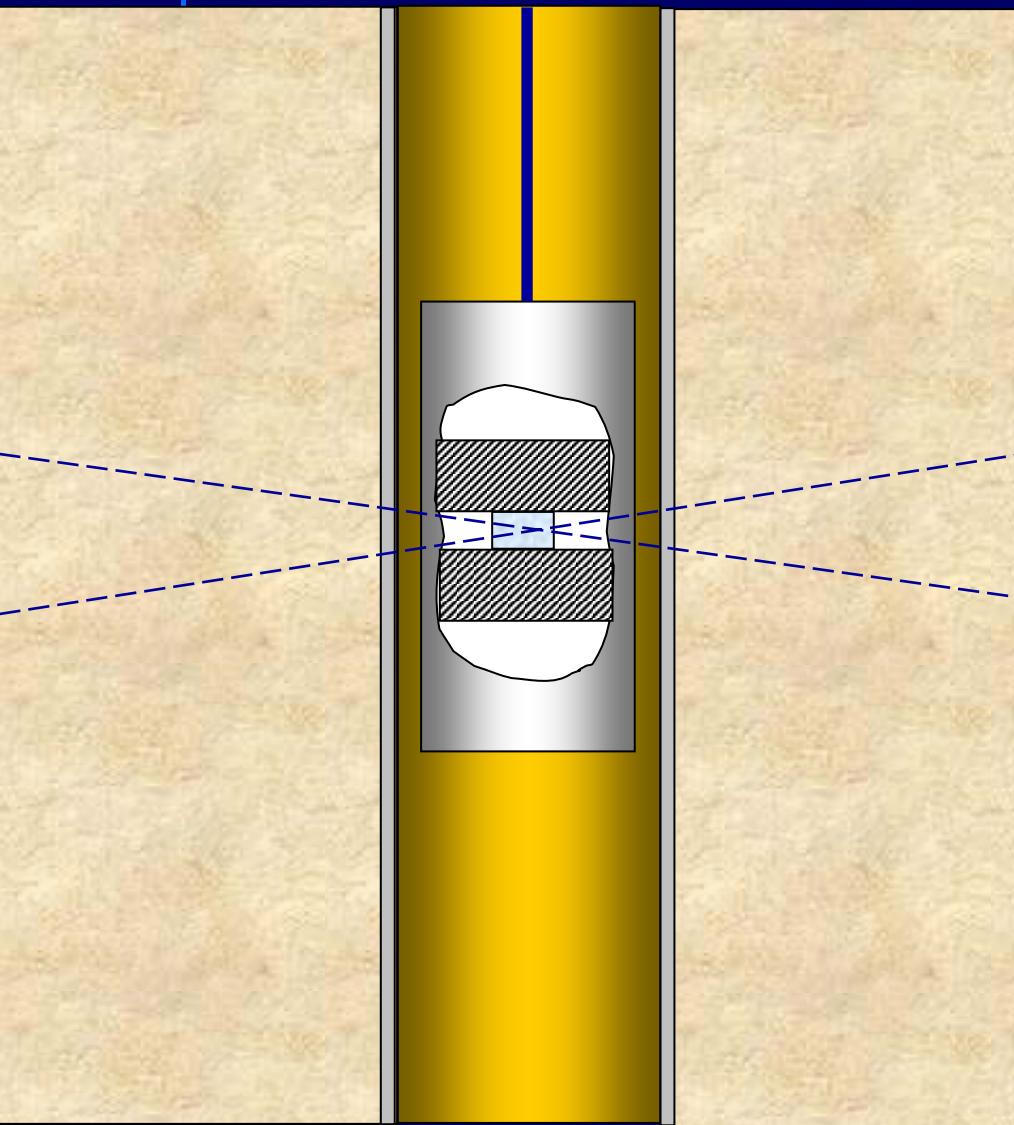
# Р. Плава (Тульская область)



# Радиометр с погружным детектором



# Схема измерения погружным детектором



$V=0.064 \text{ см}^3$        $5.7 \text{ см}^3$

Энергетическое разрешение по линии  
 $662 \text{ кэВ}$     9%      7 %;

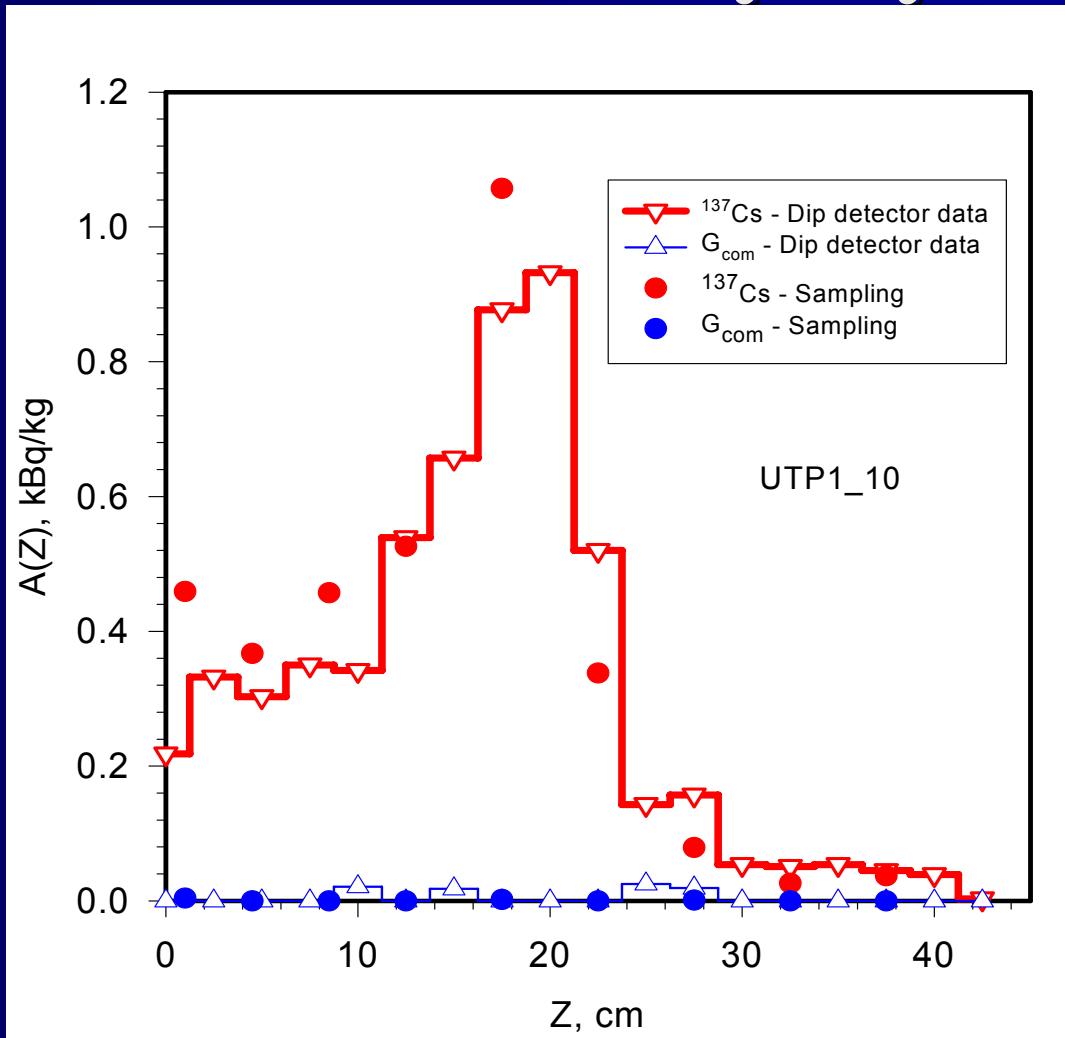
Диапазон измерения удельной  
активности,  $\text{Бк}^*\text{кг}^{-1}$   
по  $^{137}\text{Cs}$   $1,0\times\text{E}3\div5,0\times\text{E}6$ )      ( $50\div5\times\text{E}5$ )  
по  $^{60}\text{Co}$  ( $0,5\times\text{E}3\div2,5\times\text{E}6$ )      ( $20\div2\times\text{E}5$ )  
Значения чувствительности,  $\text{с}^{-1} \text{Бк}^{-1} \text{ кг}$   
по  $^{137}\text{Cs}$        $5,8\times\text{E}-5$        $1,4\times\text{E}-3$   
по  $^{60}\text{Co}$        $1,7\times\text{E}-4$        $5,4\times\text{E}-3$

Минимальная измеряемая активность  
(время измерения 300с  
и стат.составляющая погрешности 50%)  
 $\text{Бк}^*\text{кг}^{-1}$ :

по $^{137}\text{Cs}$	$1,0\times\text{E}3$	50
по $^{60}\text{Co}$	$0,5\times\text{E}3$	20

Пространственное разрешение по  
глубине ~ 5 см;

# Результаты измерения погружным детектором (пойменный участок р. Енисей. О. Усть-Тунгусский)



# Проблема обращения с РАО (отложенные решения)

## Реабилитация территории ВХРАО

### в РНЦ «Курчатовский институт»

Площадка ВХРАО РНЦ "КИ" 26 октября 2004 г.



# **Разведка территории ВХРАО**

## **Токовый и спектрометрический погружные детекторы**



**Токовый детектор:**

**CsI(Tl) Ø8x8мм ( $V_{det}=0,40 \text{ см}^3$ )**

**Диапазон измерения**

**удельной активности , Бк кг<sup>-1</sup>:**

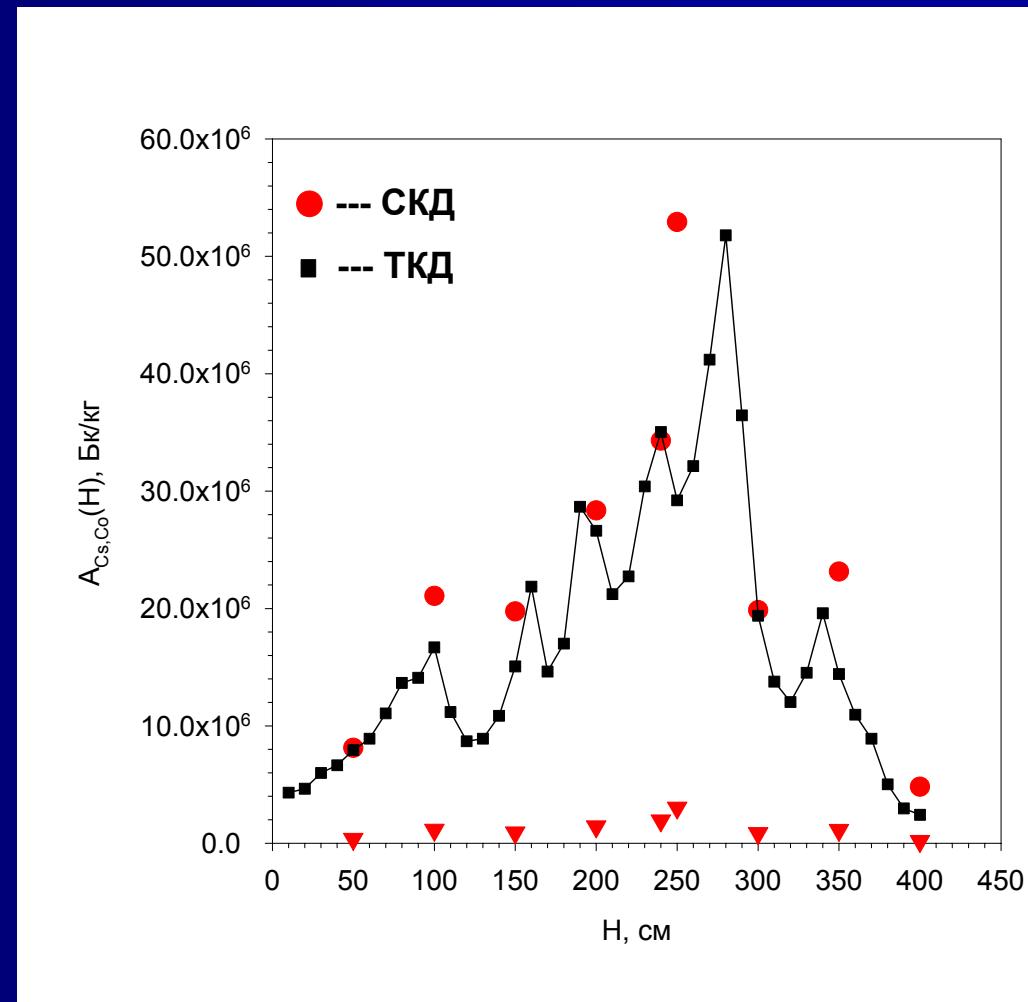
**по Cs-137 –  $1*10^{-4} \div 4*10^{-8}$**

**по Co-60 –  $5*10^{-3} \div 1*10^{-8}$**

**Пространственное**

**разрешение по глубине – 5 см**

# Измерения погружным детектором в технологических скважинах



# Коллимированные пороговые детекторы, установленные на технические средства





27/06/2006



27/06/2006

# Радиометр для определения активности р/н в транспортных контейнерах



# Радиометр для определения активности р/н в транспортных контейнерах



Полевой спектрометрический  
коллимированный детектор  
«ПСКД»

Диапазон энергий регистрируемого излучения  
 $60 \div 1600\text{кэВ}$ ;

Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ  
не хуже 8%;

Диапазон измерения удельной активности , Бк  
 $\text{кГ}^{-1}$

по  $^{137}\text{Cs}$

$(0,7 \times 1\text{E}3 \div 1,5 \times 1\text{E}8)(V=20\text{см}^3)$

$(2,0 \times 1\text{E}4 \div 6,0 \times 1\text{E}8)(V=5\text{см}^3)$

по  $^{60}\text{Co}$

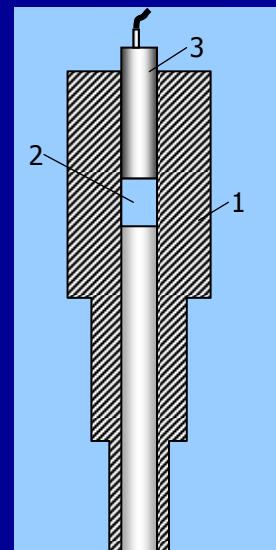
$(2,0 \times 1\text{E}3 \div 4,0 \times 1\text{E}7)(V=20\text{см}^3)$

$(0,5 \times 1\text{E}4 \div 1,5 \times 1\text{E}8)(V=5\text{см}^3)$

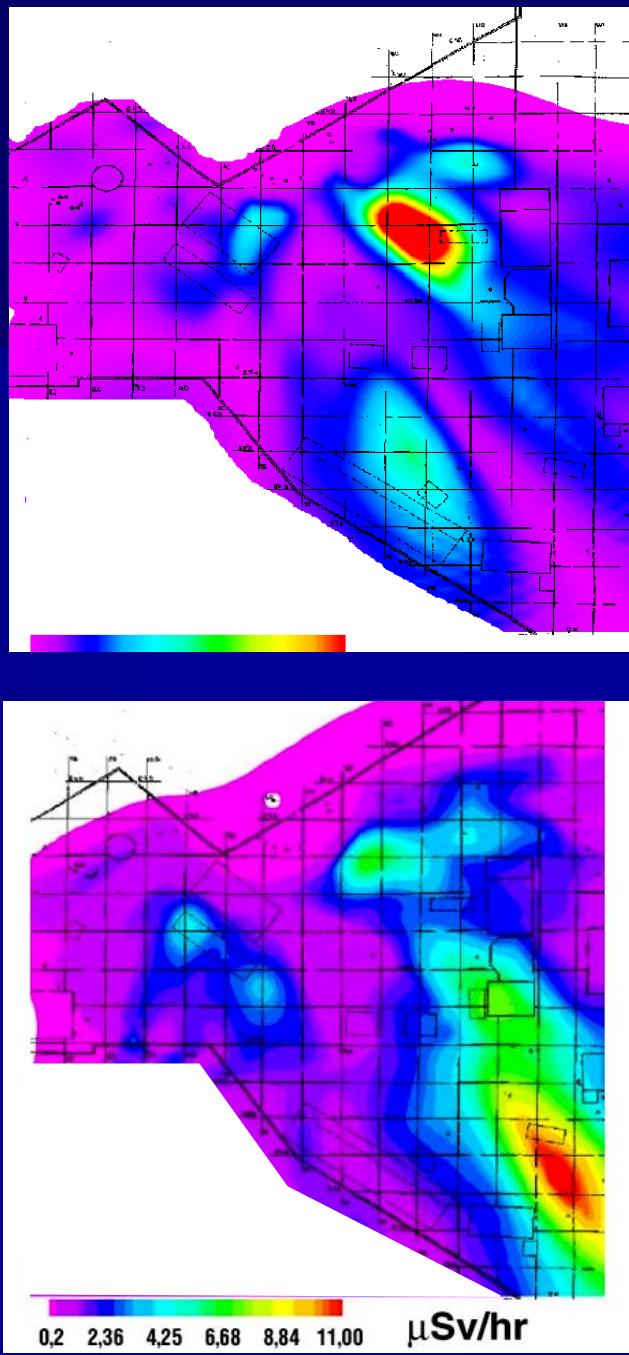
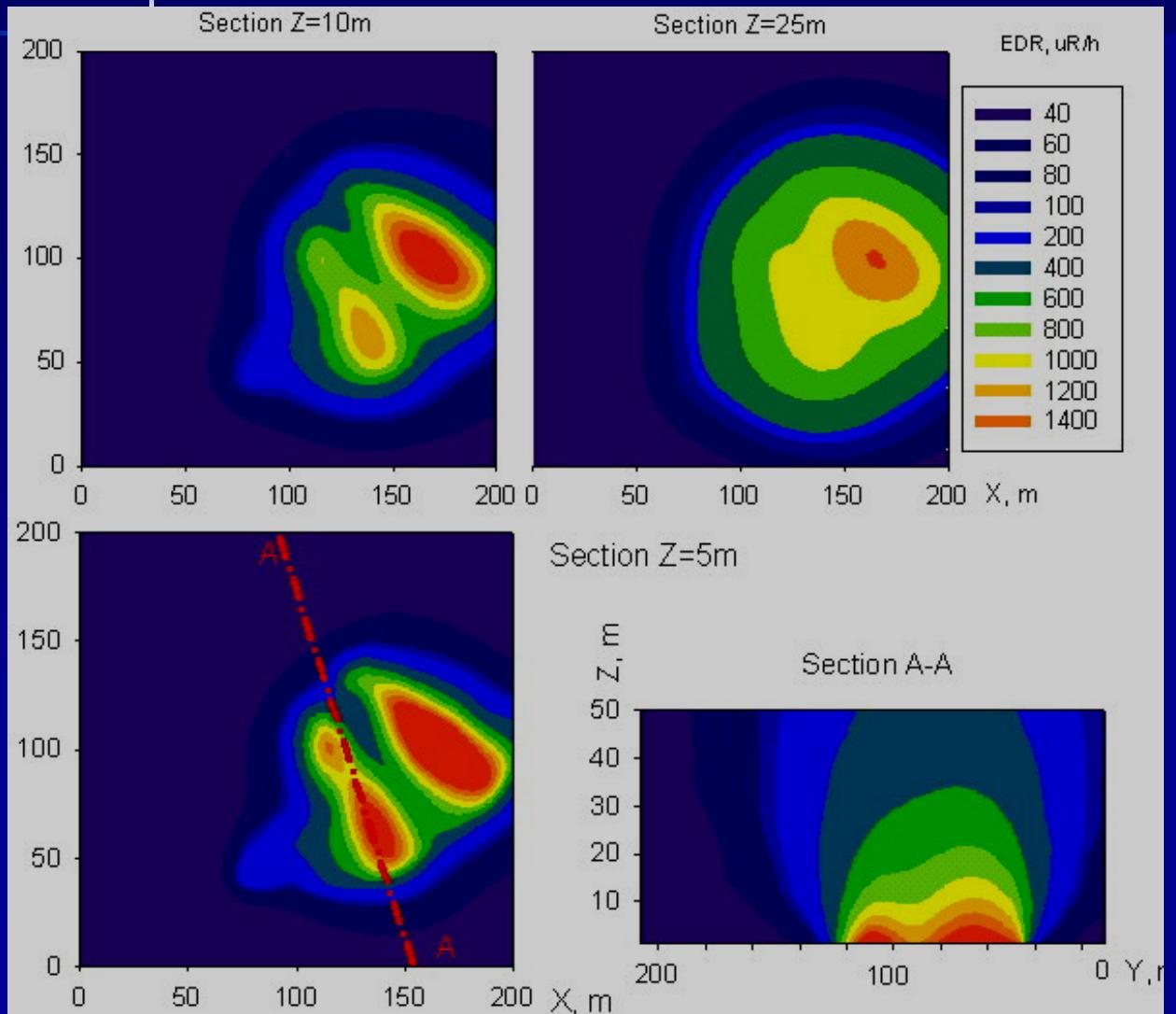
# Гамма локатор с дистанционным управлением



# Гамма-локатор Площадка ВХРАО



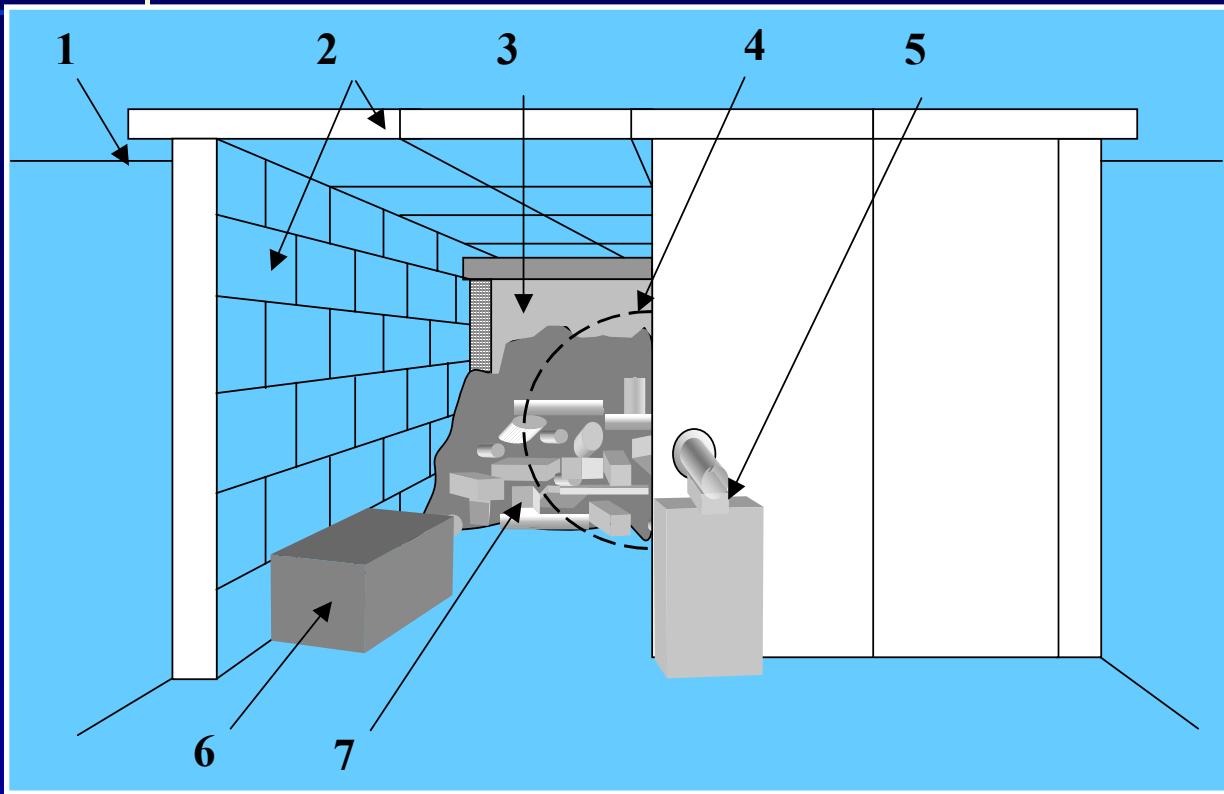
# Распределения МЭД на площадке ВХРАО





# Применение Гамма-визора в работах по выгрузке РАО из временных хранилищ

## Расположение Гамма-визора в хранилище РАО



- 1- уровень земли,
- 2- дополнительное защитное укрытие из бетонных блоков с перекрытиями бетонными плитами
- 3- хранилище РАО
- 4- поле зрения прибора
- 5– месторасположение прибора на подставке на входе в хранилище,
- 6 – контейнер для РАО,
- 7 – РАО подготовленные к загрузке в контейнеры

















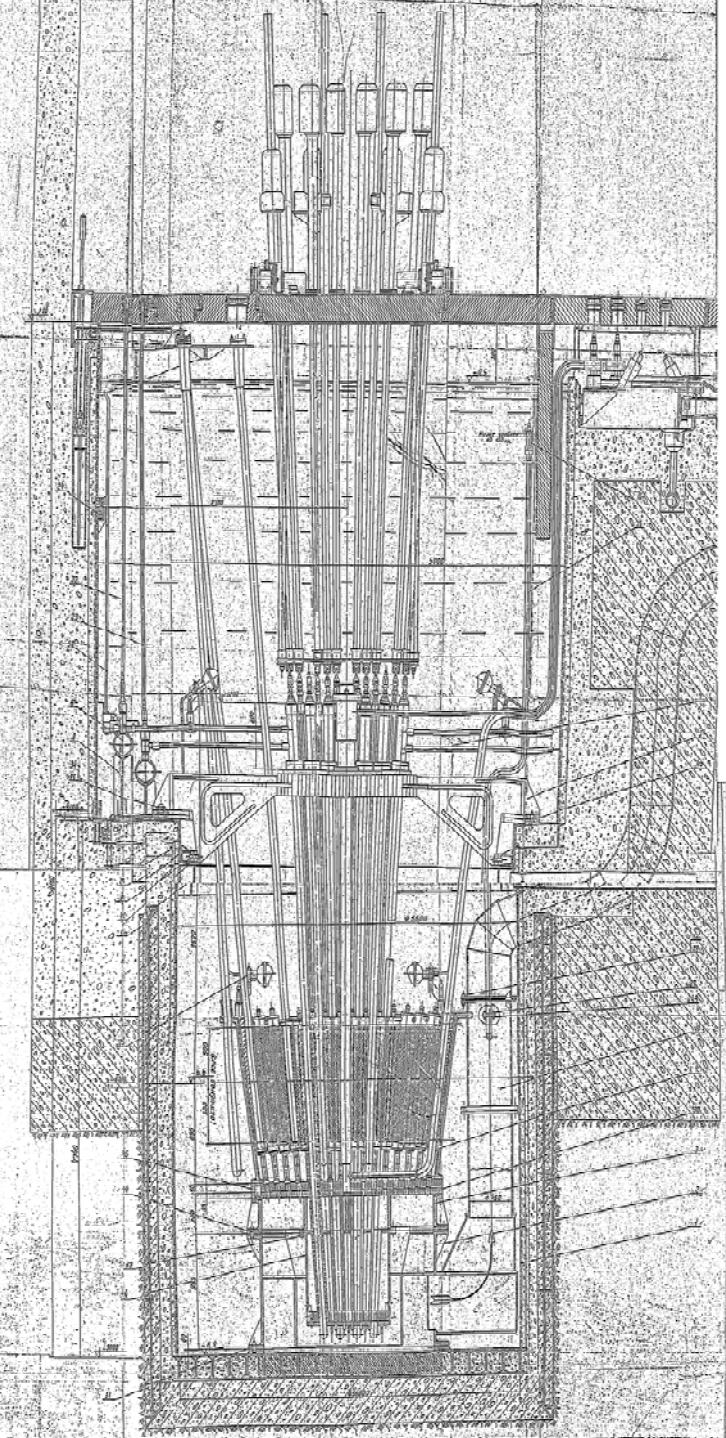




# Химический комбинат, г. Грозный

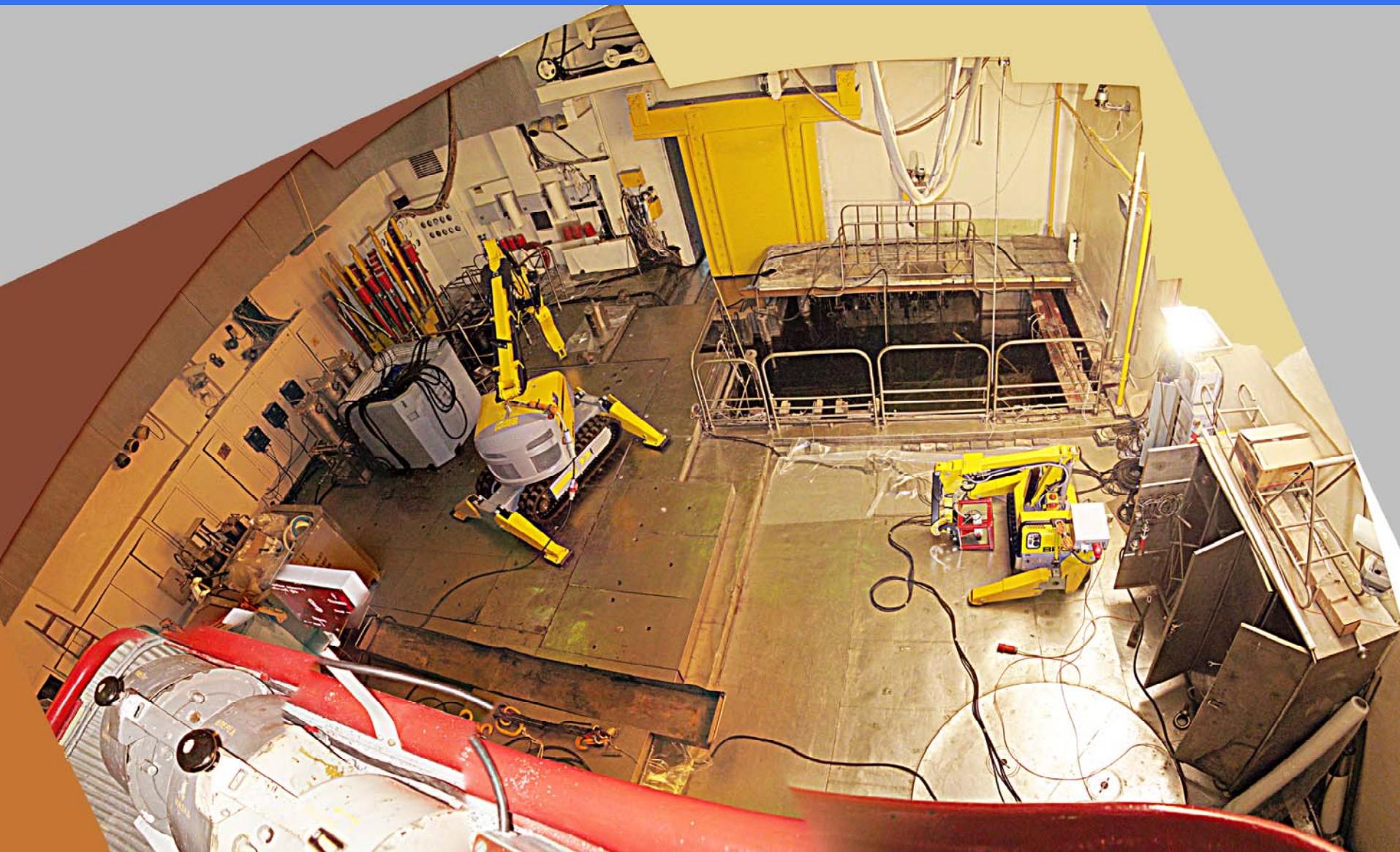


# Реактор МР



- Реактор МР - многопетлевой исследовательский реактор, предназначенный для испытаний твэлов и материалов новых атомных энергетических установок
- Проектная мощность реактора – 20МВт

# Реакторный зал МР



# Система радиационных измерений на роботе БРОКК



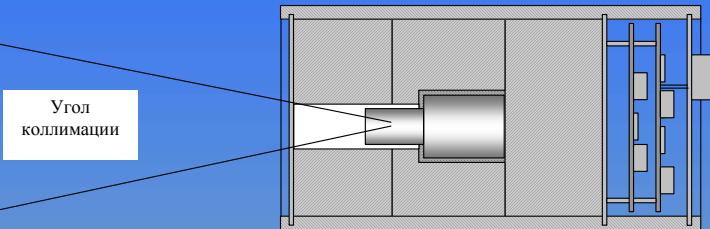


**БРОКК-ПИОНЕР**

**Пульт управления**



# Измерительный блок



Коллимированный детектор  
сцинтиллятор (CWO) -фотодиод



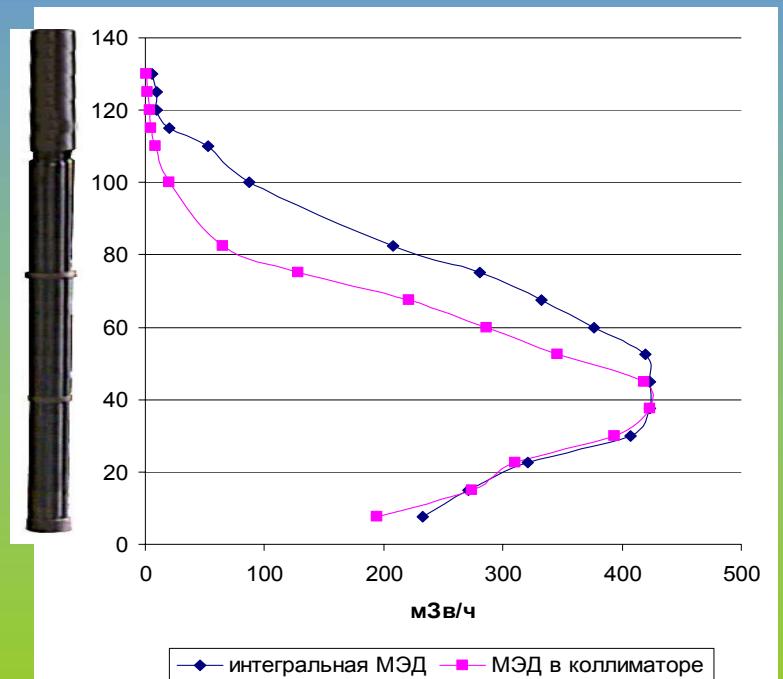
диапазон измерения МЭД -  
1мЗв/ч - 8.5 Зв/ч;



# Обследование хранилища СУЗ с помощью БРОКК- ПИОНЕР



# Обследование хранилища СУЗ с помощью БРОКК- ПИОНЕР



Зависимость интегральной и парциальной  
мощности дозы от разных частей ТВС

ИЭД1 18.45 РЧ

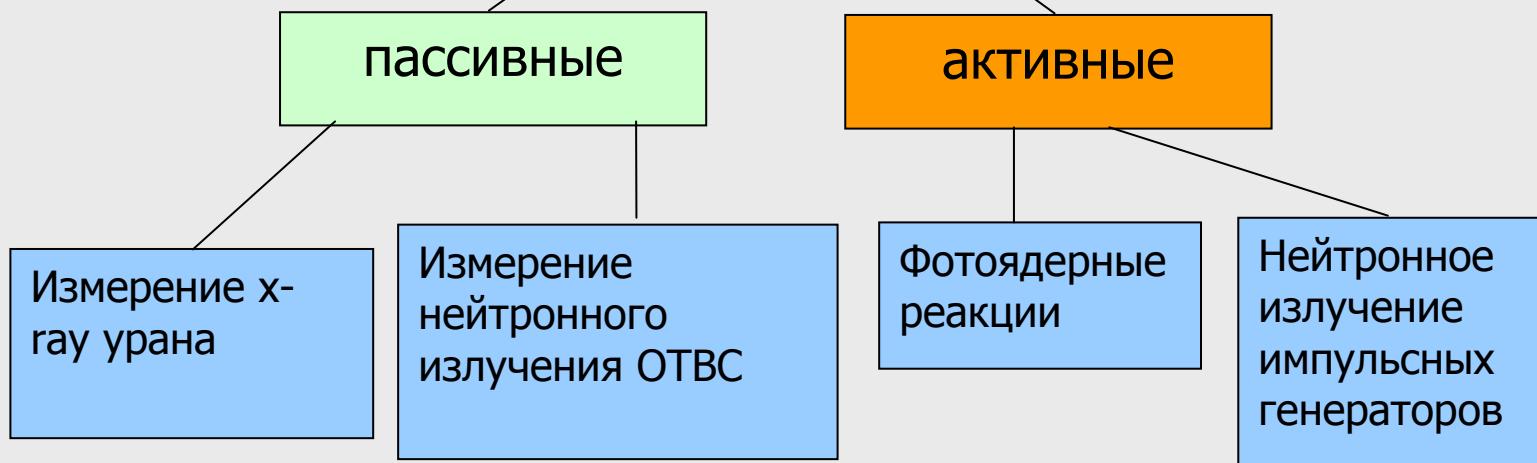
ИЭД2 13.35 РЧ



## Результаты обследования с помощью БРОКК-ПИОНЕР

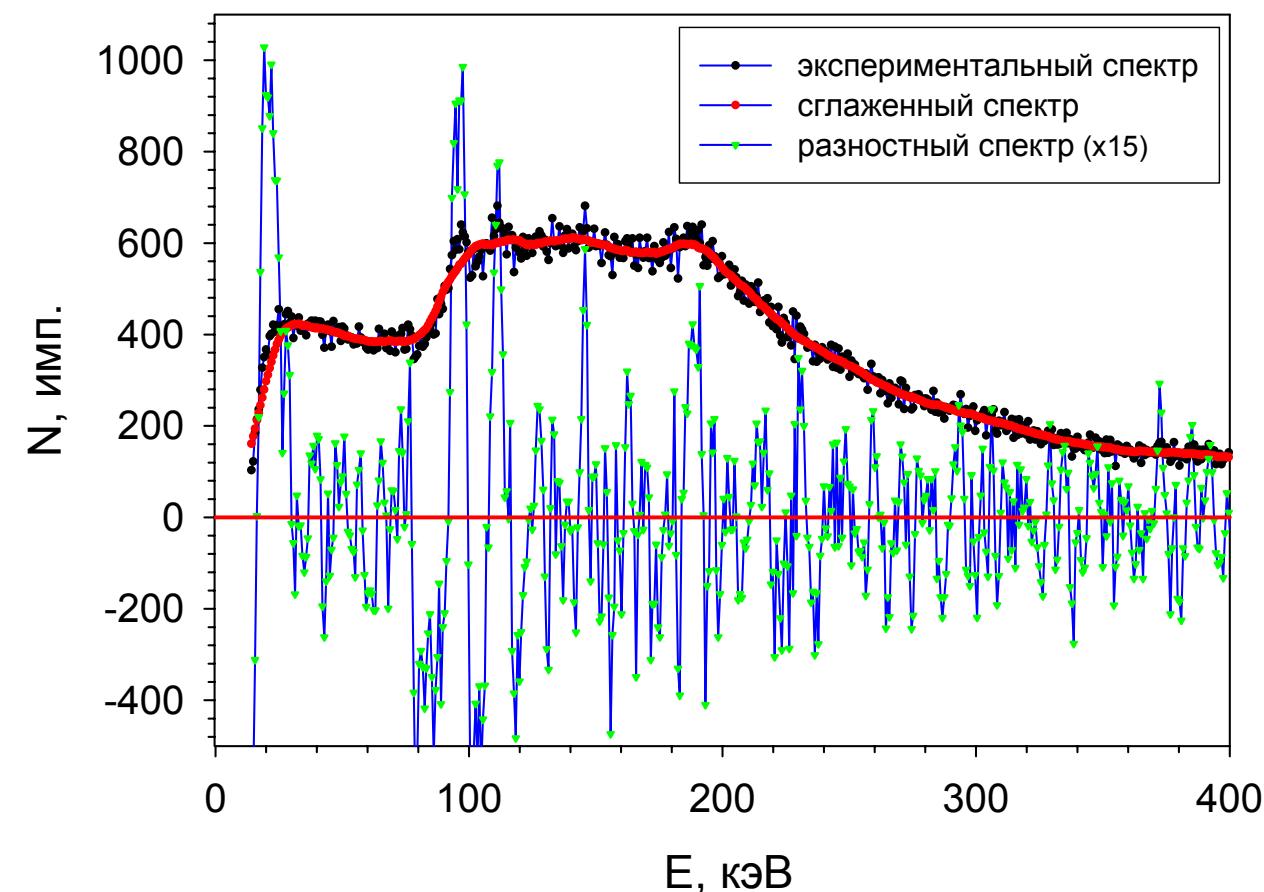


## Методы обнаружения делящихся материалов, ОЯТ

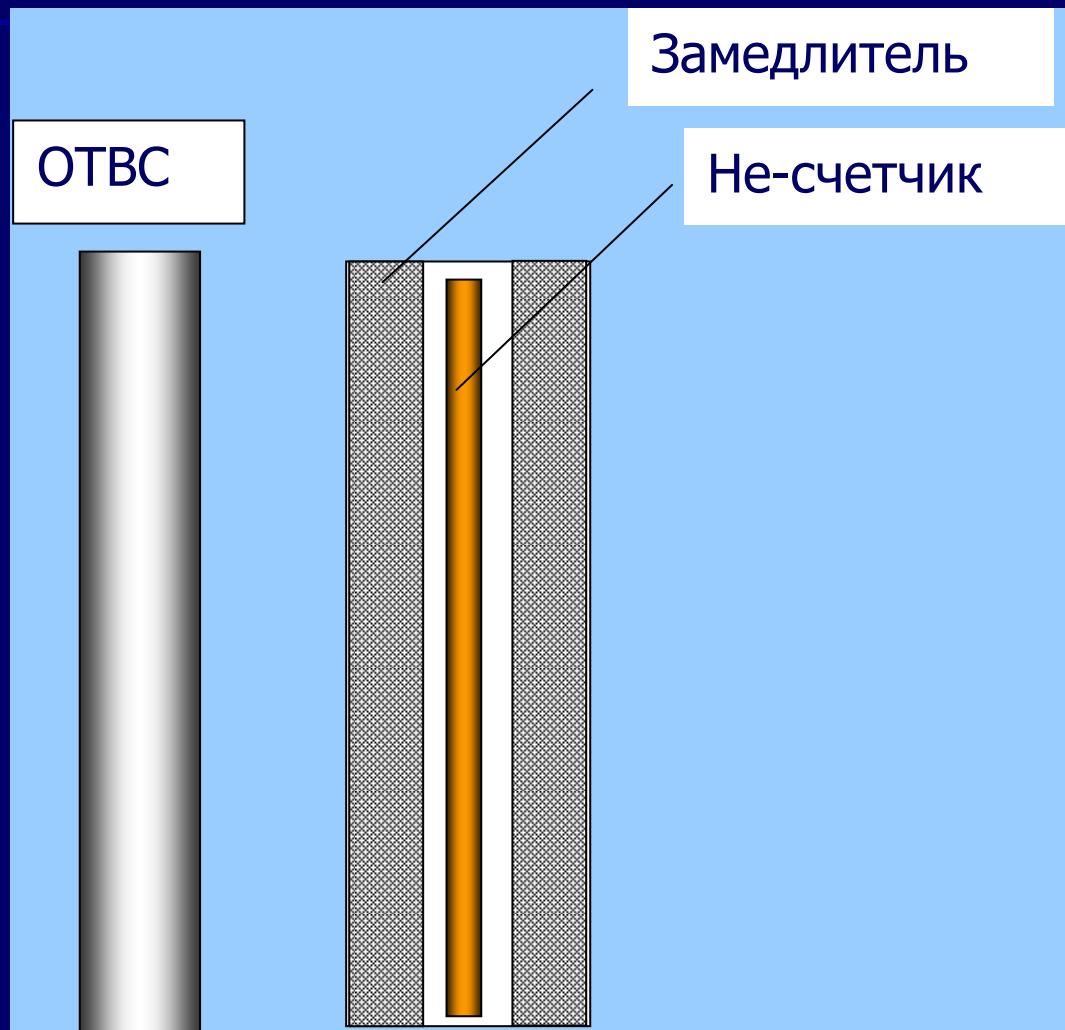


# Обнаружение урана пассивным методом.

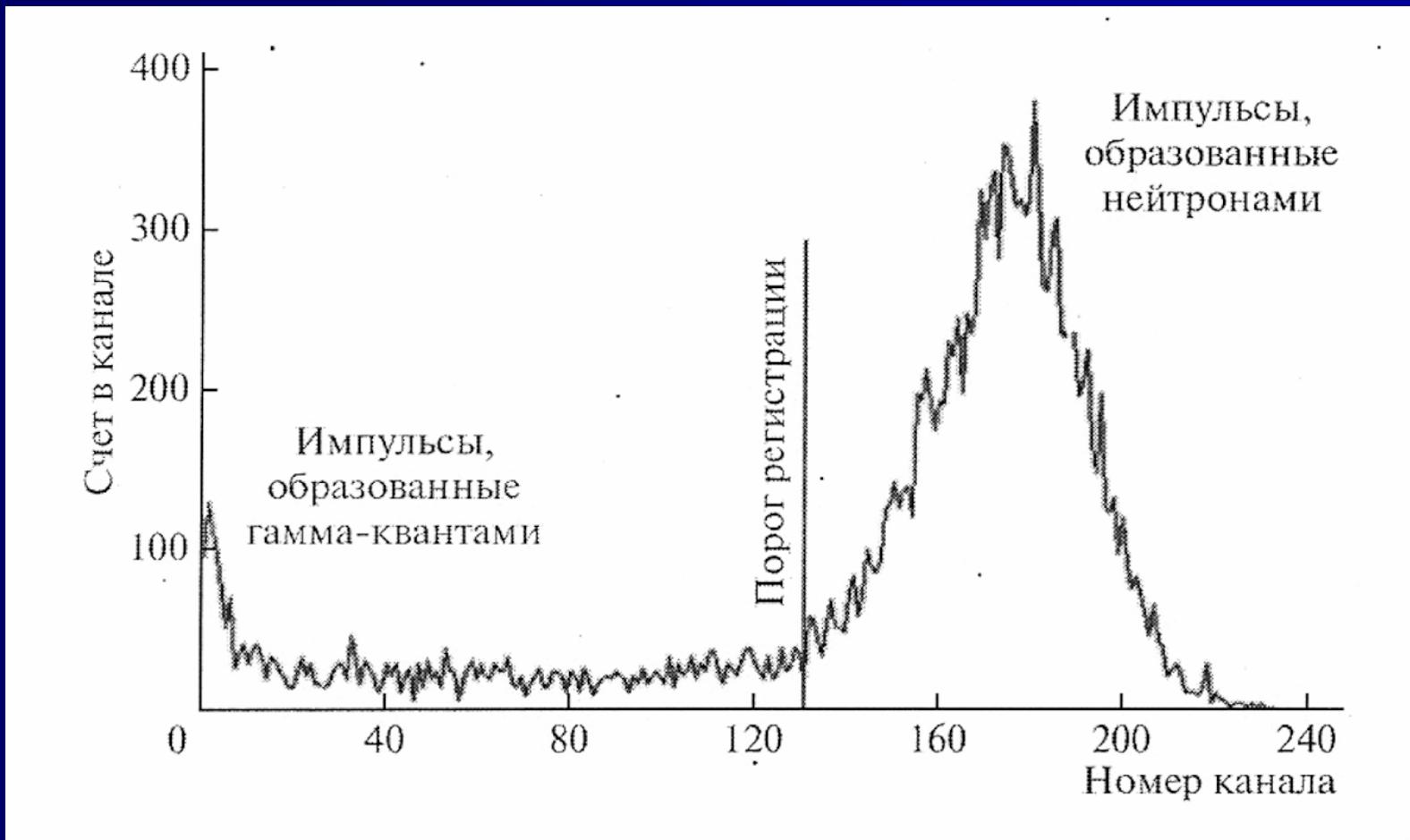
## Объект «Ромашка»



# Пассивный метод обнаружения ОЯТ



# Спектр импульсов при измерении нейтронного излучения ОТВС

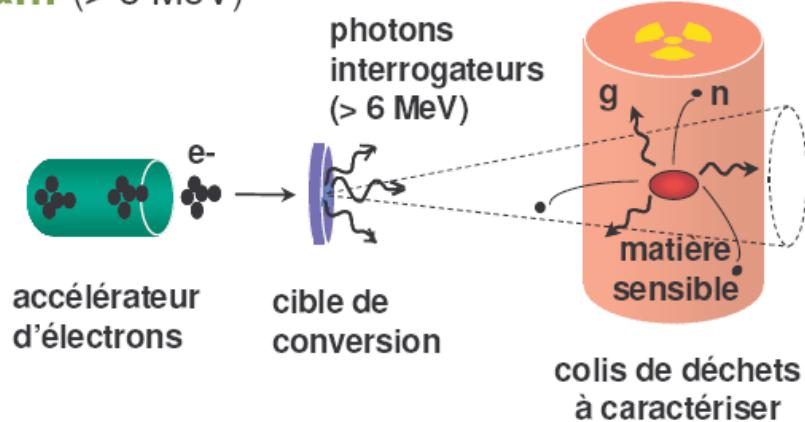


# Active measurement by photon interrogation

cea

## The SAPHIR facility (CEA/Saclay):

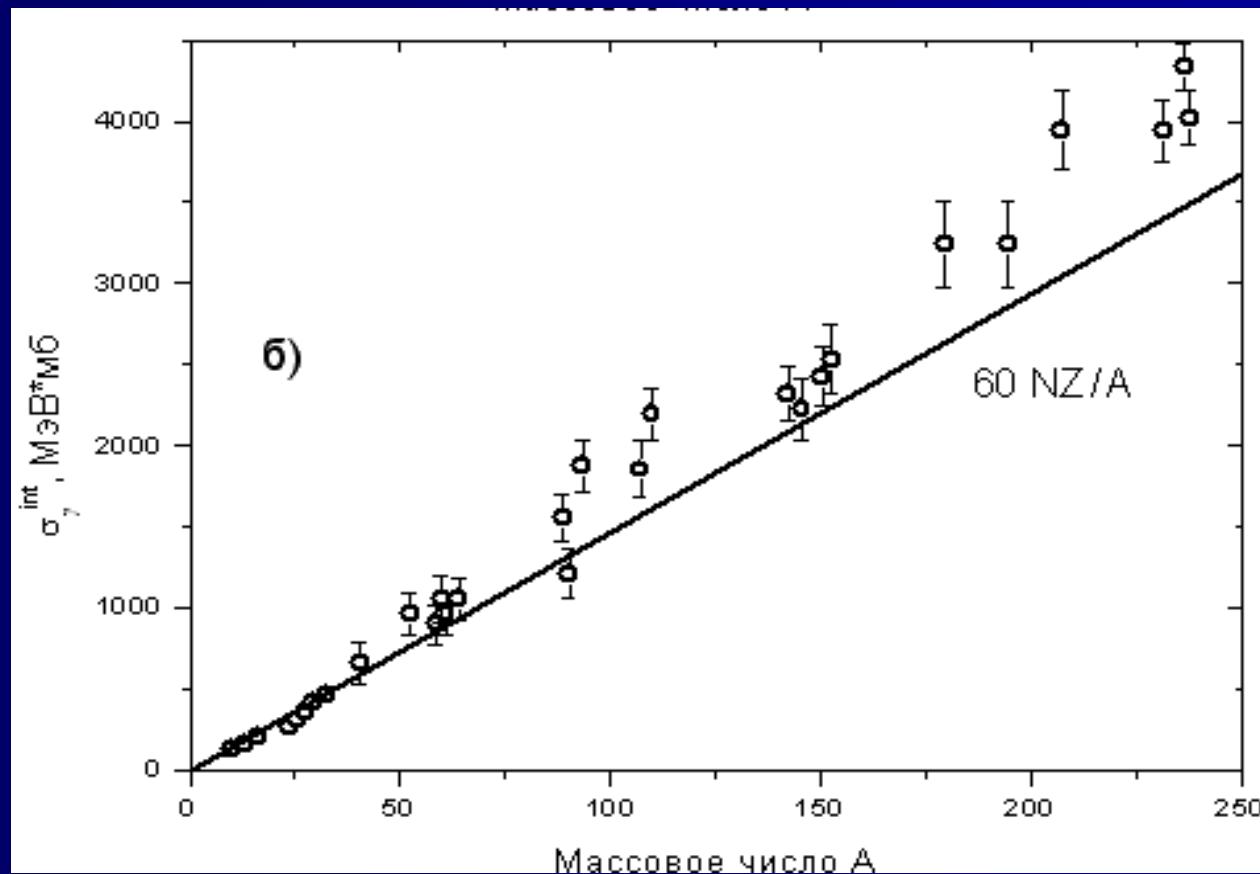
- actinide-mass measurement in **heavy concrete packages** by **photofission** and **delayed-neutron** counting
- **LINAC + conversion target**  
→ **high-energy photon beam** (> 6 MeV)



### LINAC design features:

Energy: **15 – 30 MeV**  
Repet. freq.: 6.25 – 400 Hz  
Pulses: 2.5 µs – 130 mA  
Tungsten target (3 mm)

# Зависимость интегрального сечения фотоядерной реакции от массового числа

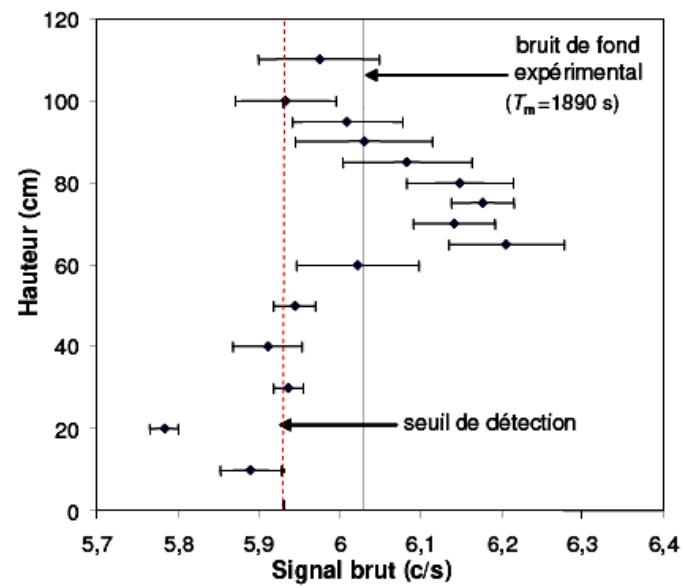
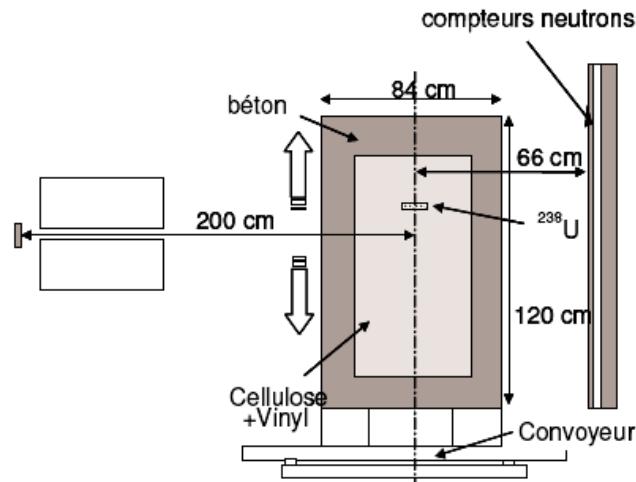


# Active measurement by photon interrogation

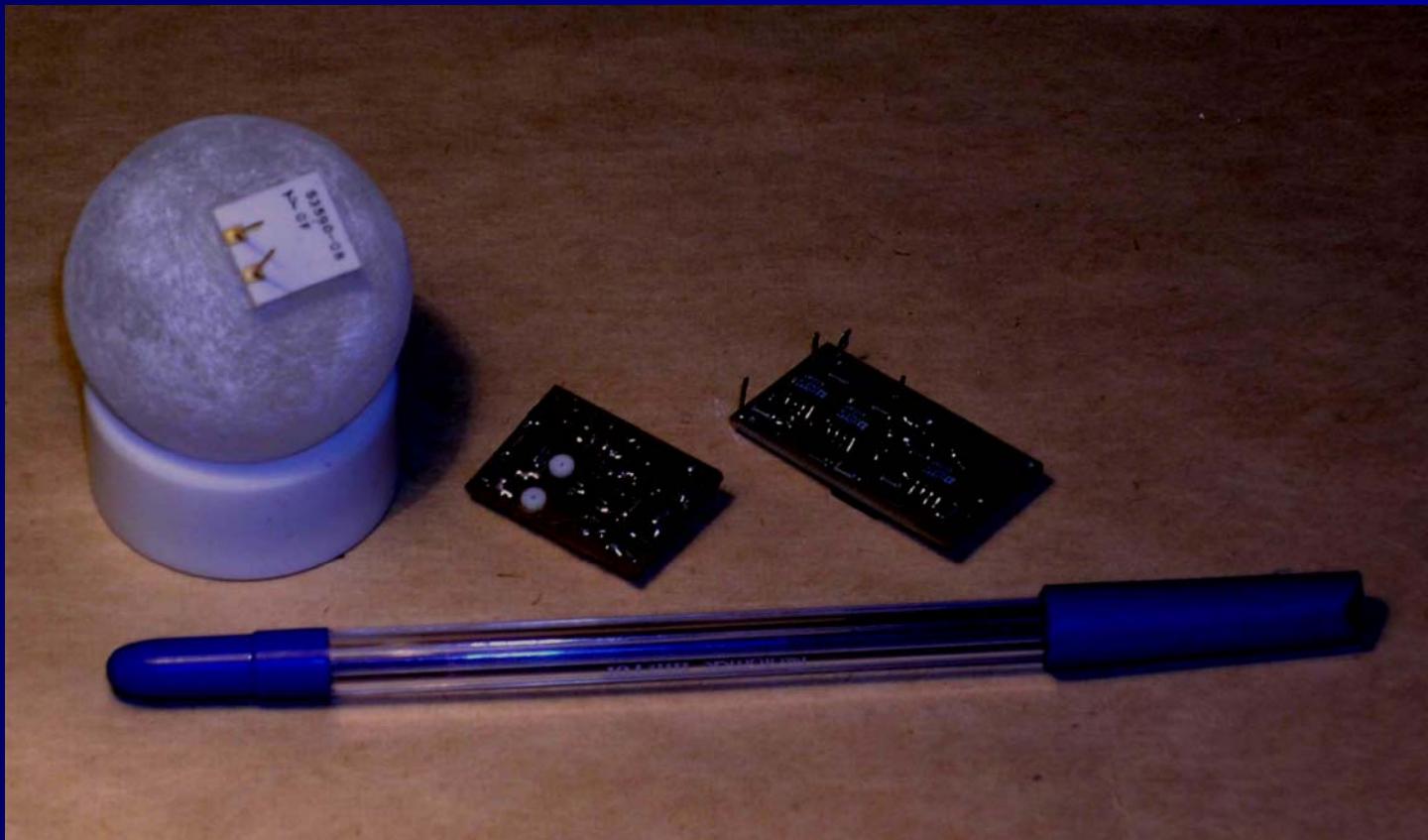
cea

## Measurement on a real package: (SAPHIR, CEA/Saclay)

- concrete package with compacted wastes: 1.2 ton
- calibration of the measurement by simulation (modified MCNP code)
- detection of 620 mg ± 450 mg of  $^{238}\text{U}$  equiv. at altitude 70 cm

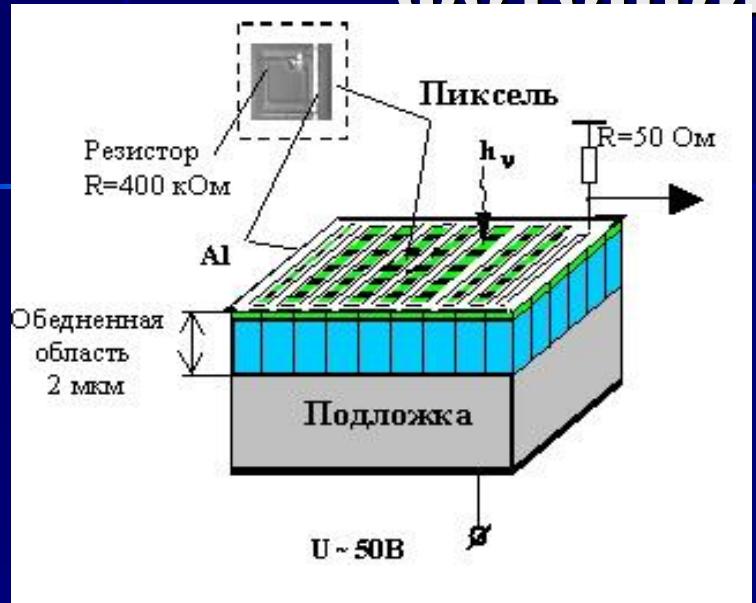


# Компоненты детектора «сцинтиллятор-фотодиод»



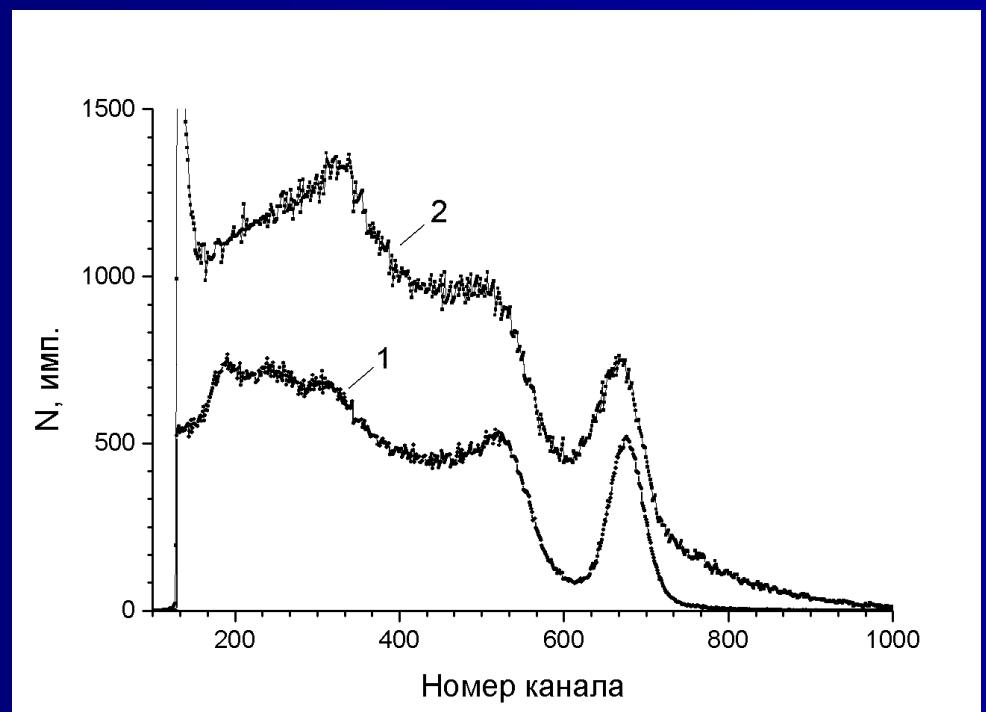


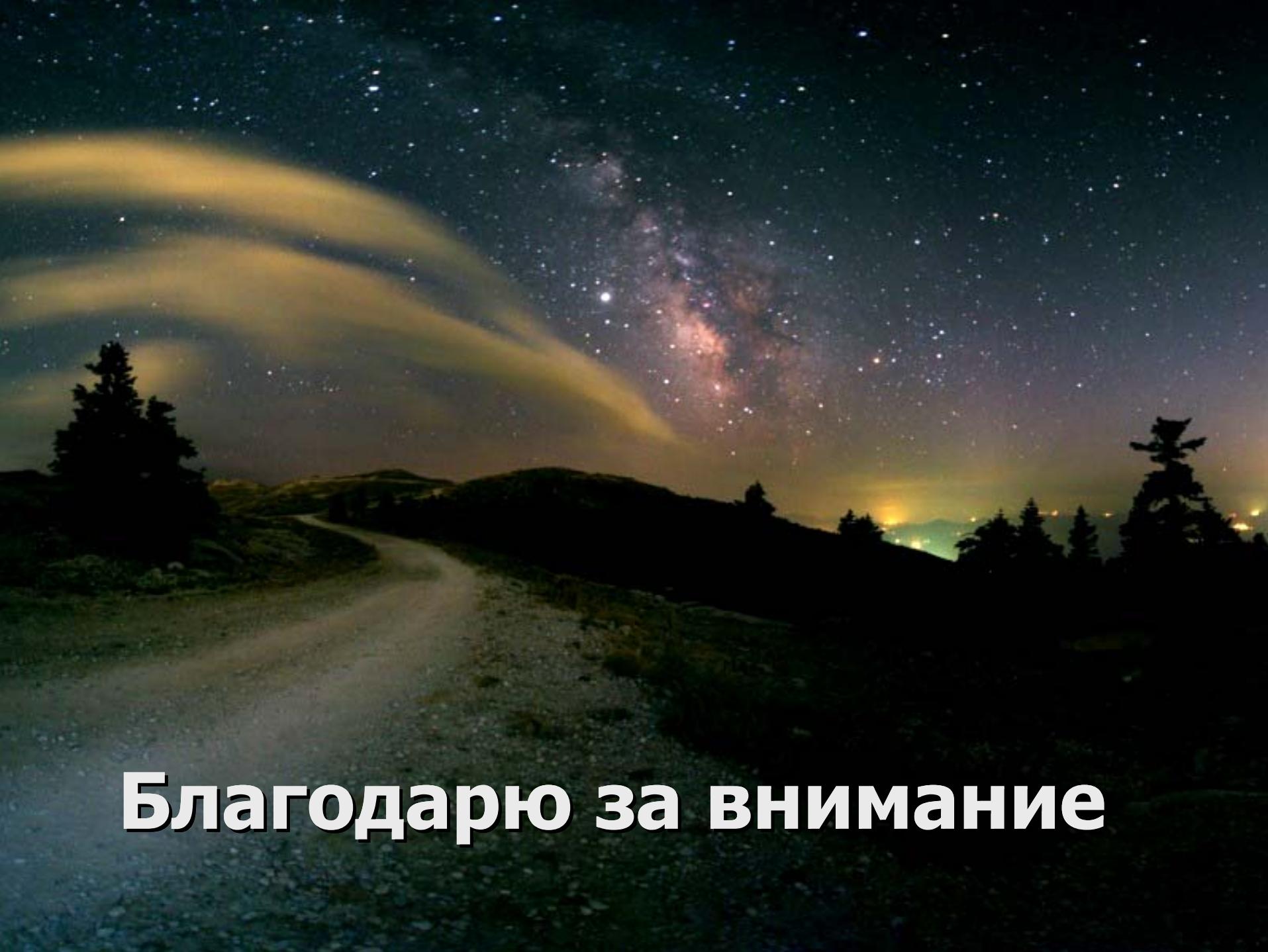
# Спектрометрический детектор с фотоприемником SiPM



Cs-137 спектры

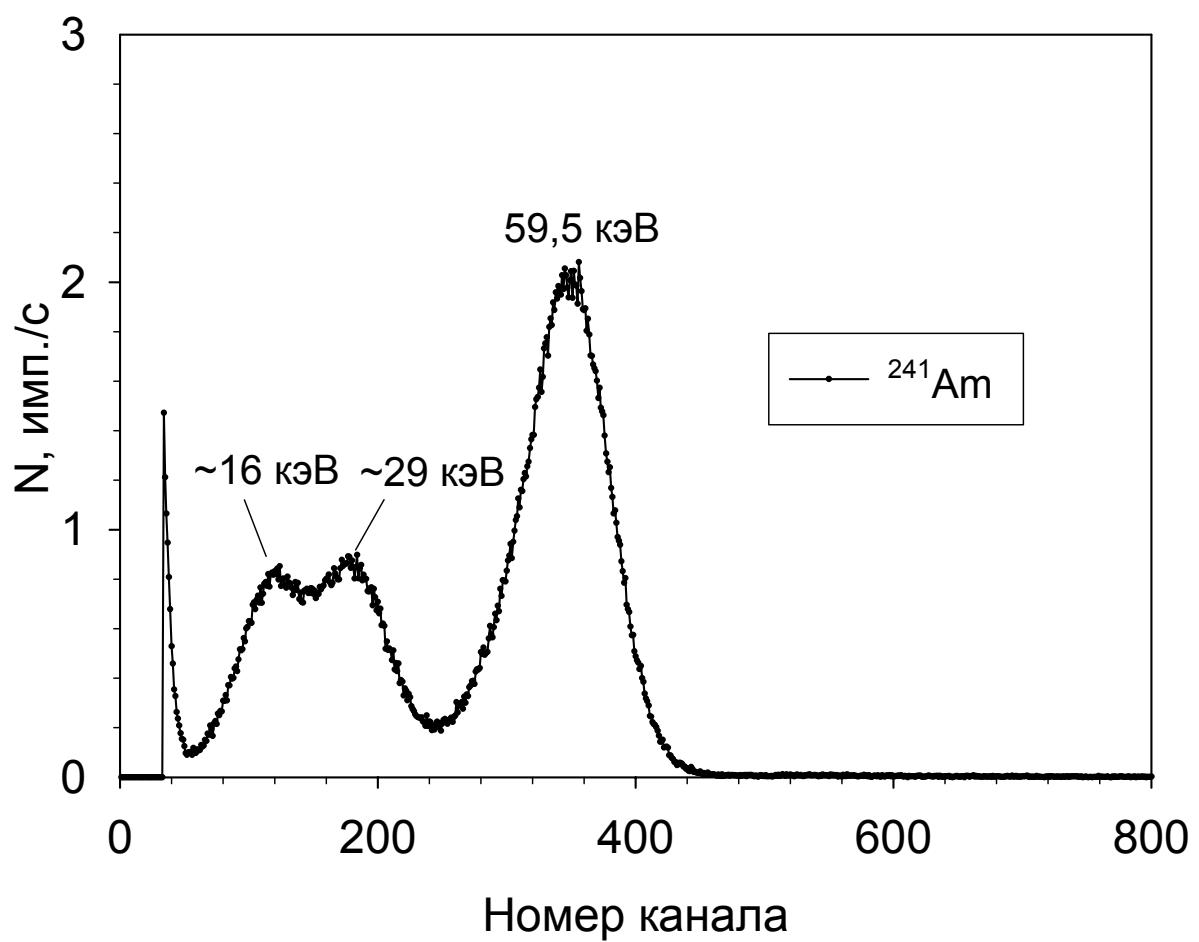
1) МЭД - 0,38 Р/ч    2) МЭД - 26,6 Р/ч



A wide-angle photograph of a night landscape. The foreground shows a dirt path winding through dark, hilly terrain. In the background, the silhouette of a town or city is visible at the base of the hills, with lights reflecting on the water. The sky is filled with numerous stars, and a prominent, colorful nebula or galaxy is visible, stretching across the upper portion of the frame.

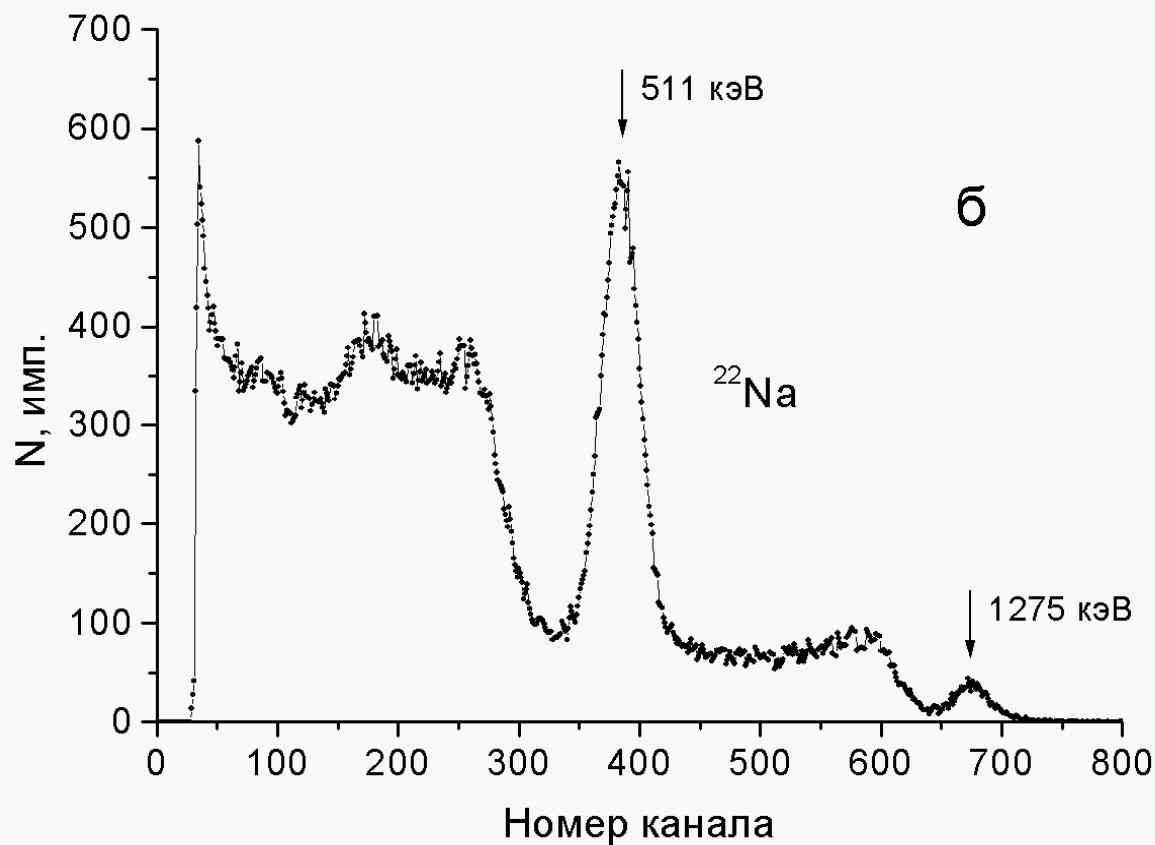
**Благодарю за внимание**

# Аппаратурный спектр излучения $^{241}\text{Am}$



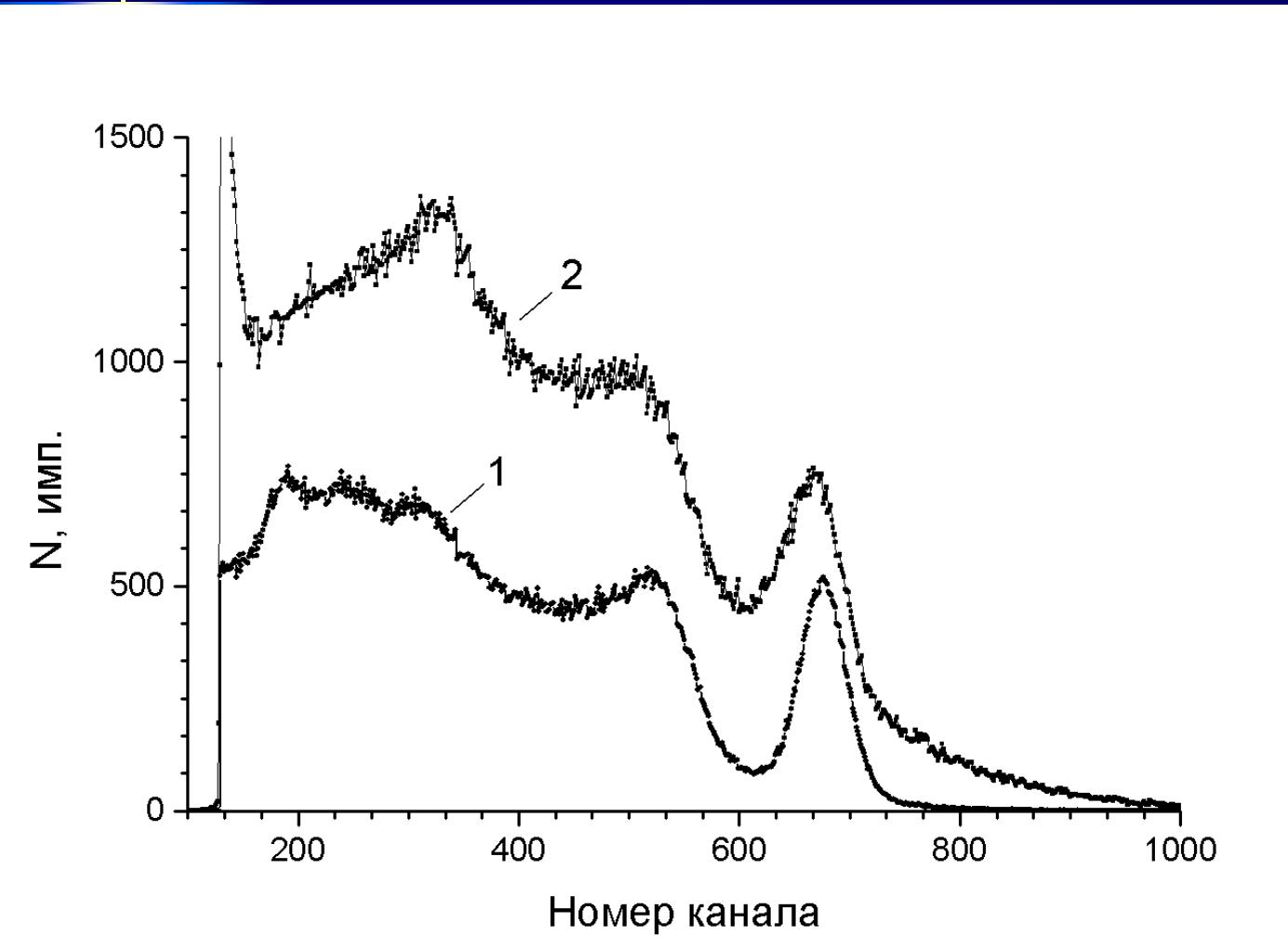
- Детектор  $\text{CsI}(\text{TI})+\text{SSPM}$ ,  $\text{CsI}(\text{TI})-\varnothing 4\times 4\text{мм}$
- SSPM–0606BG4mm (1764 пикселя)

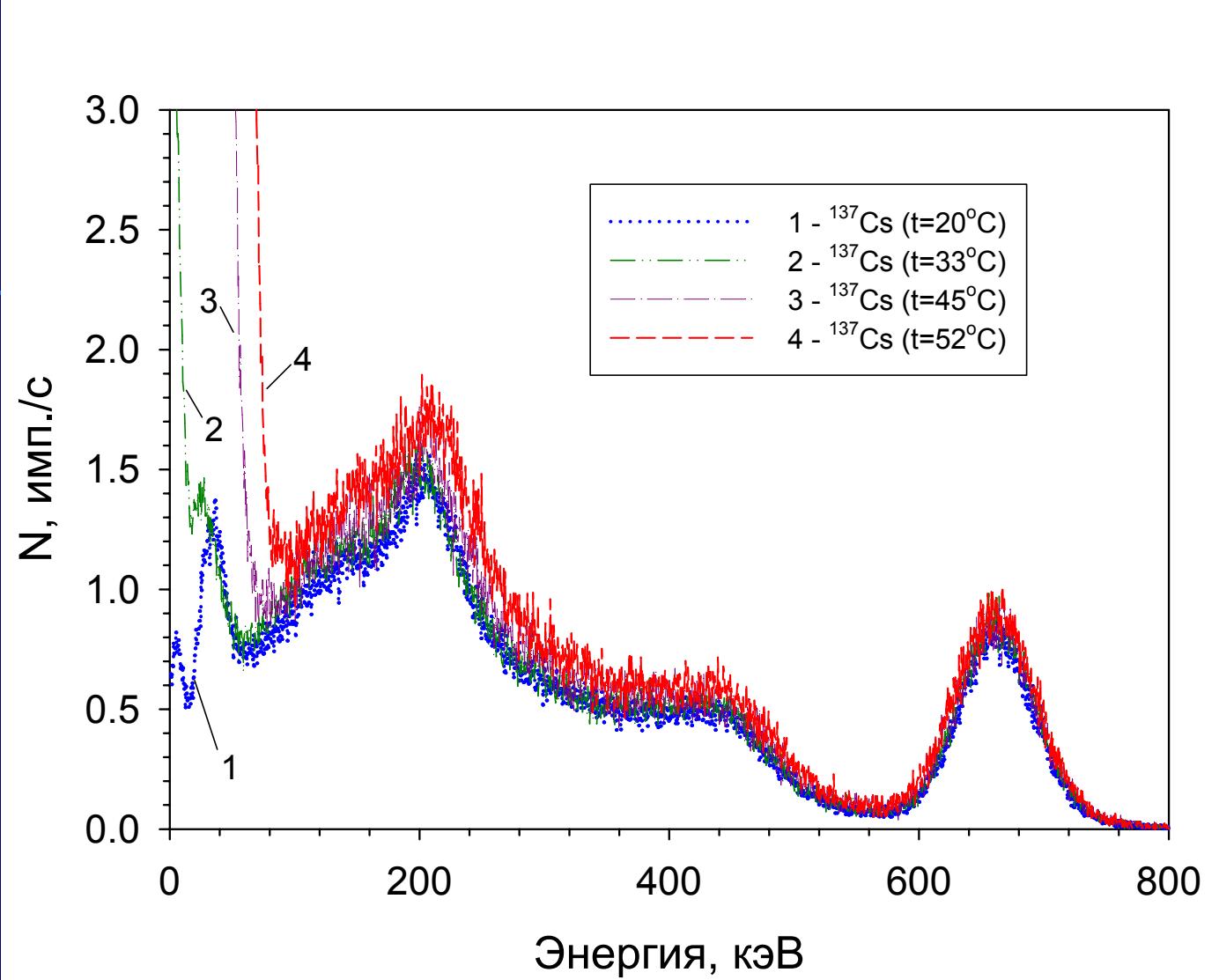
# Аппаратурный спектр излучения $^{22}\text{Na}$



- Детектор CsI(Tl)+SSPM,  
CsI(Tl)-Ø2x5мм
- SSPM– 0701BG  
(576пикселей)

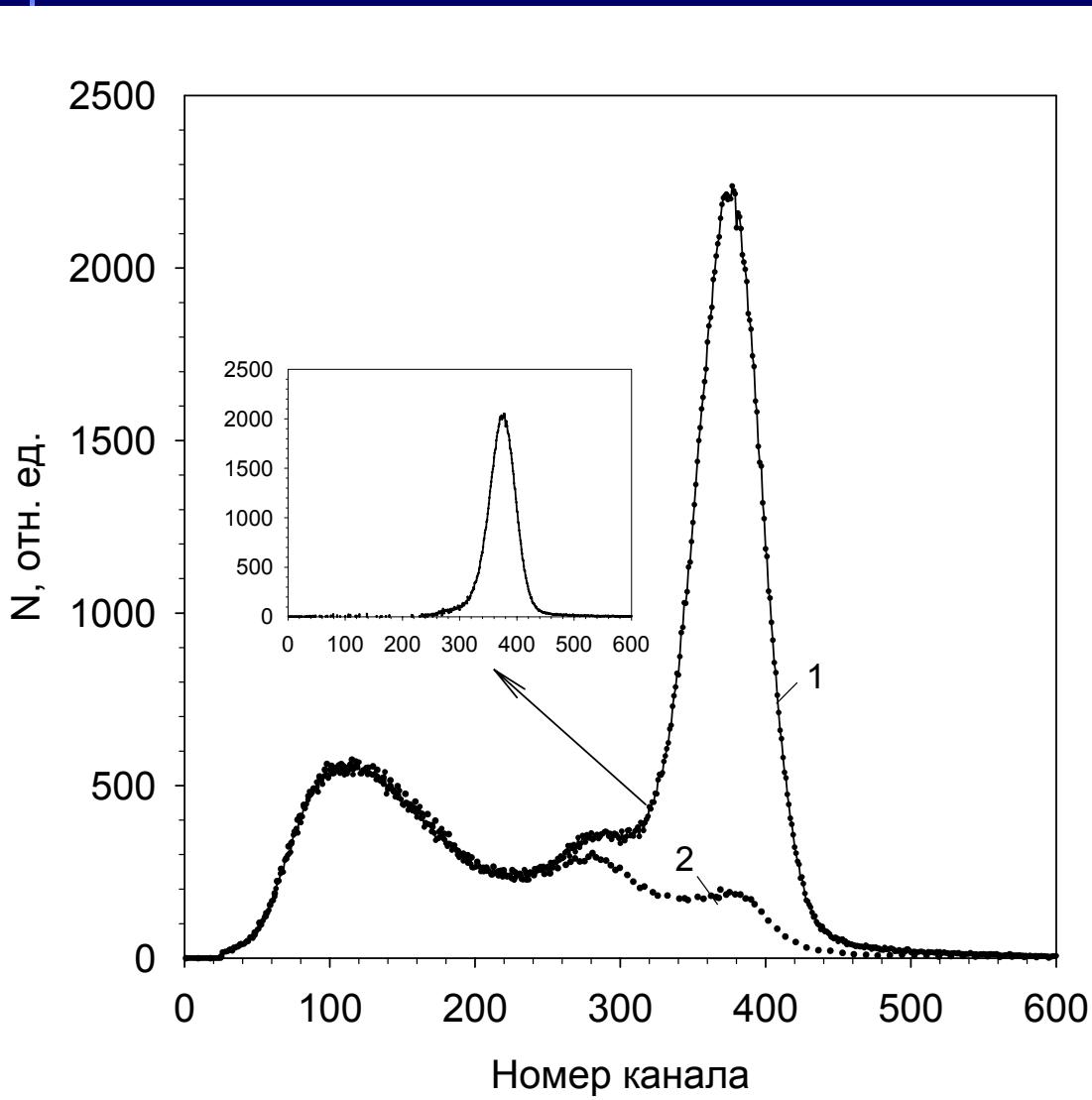
# Спектры излучения $^{137}\text{Cs}$ , полученные в радиационных полях с МЭД - 0,38 Р/ч (3,6мЗв/ч)(1) и 26,6 Р/ч (0,253з/ч) (2)





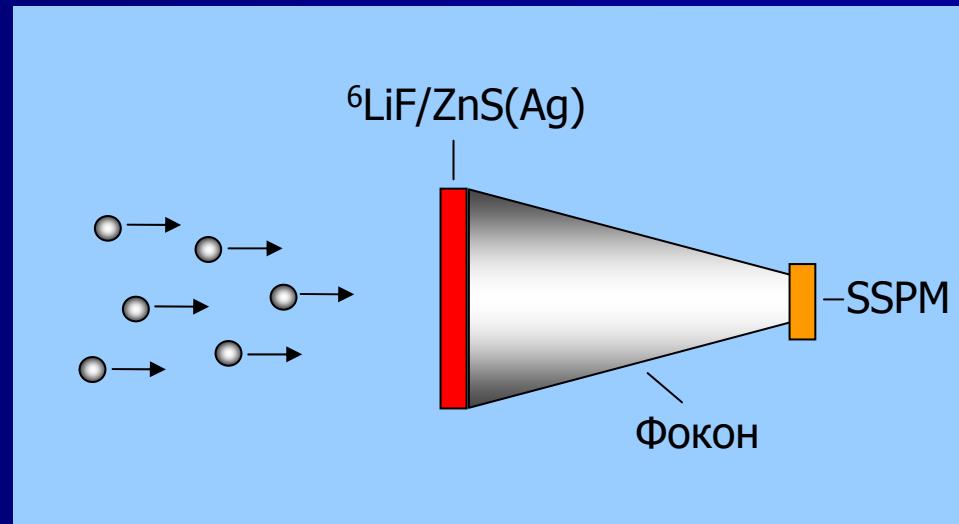
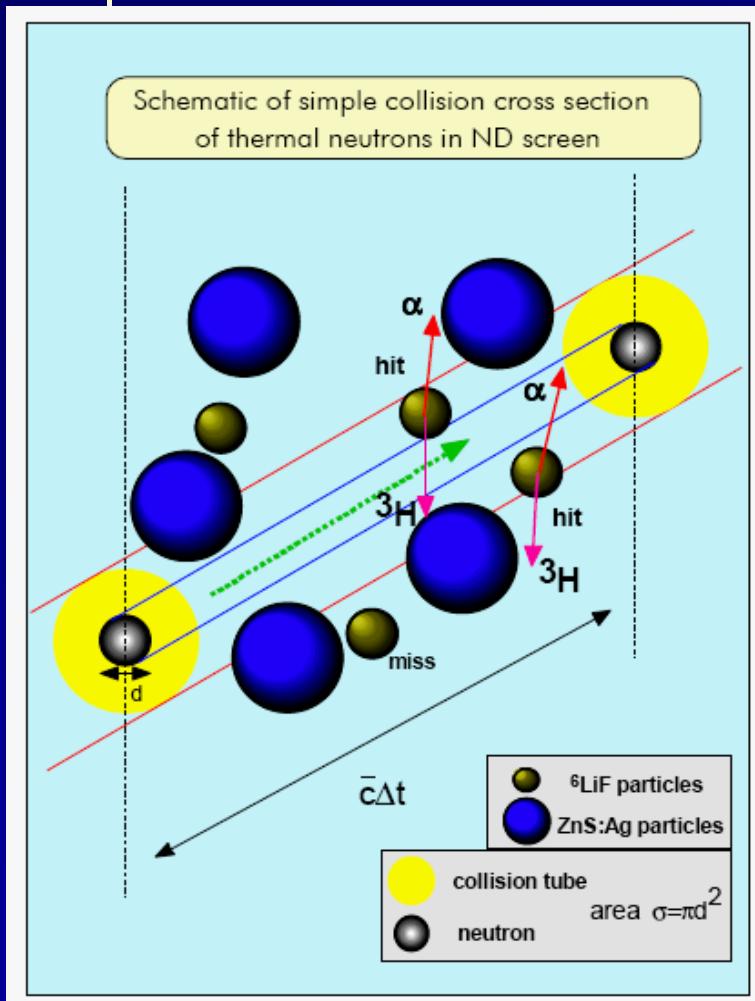
- Характер изменения спектров излучения  $^{137}\text{Cs}$  в температурном диапазоне  $(20\div 52)^\circ\text{C}$  ( $V_{\text{CsI}} \sim 1 \text{cm}^3$ )

# Амплитудный спектр детектора LiI(Eu) +SSPM

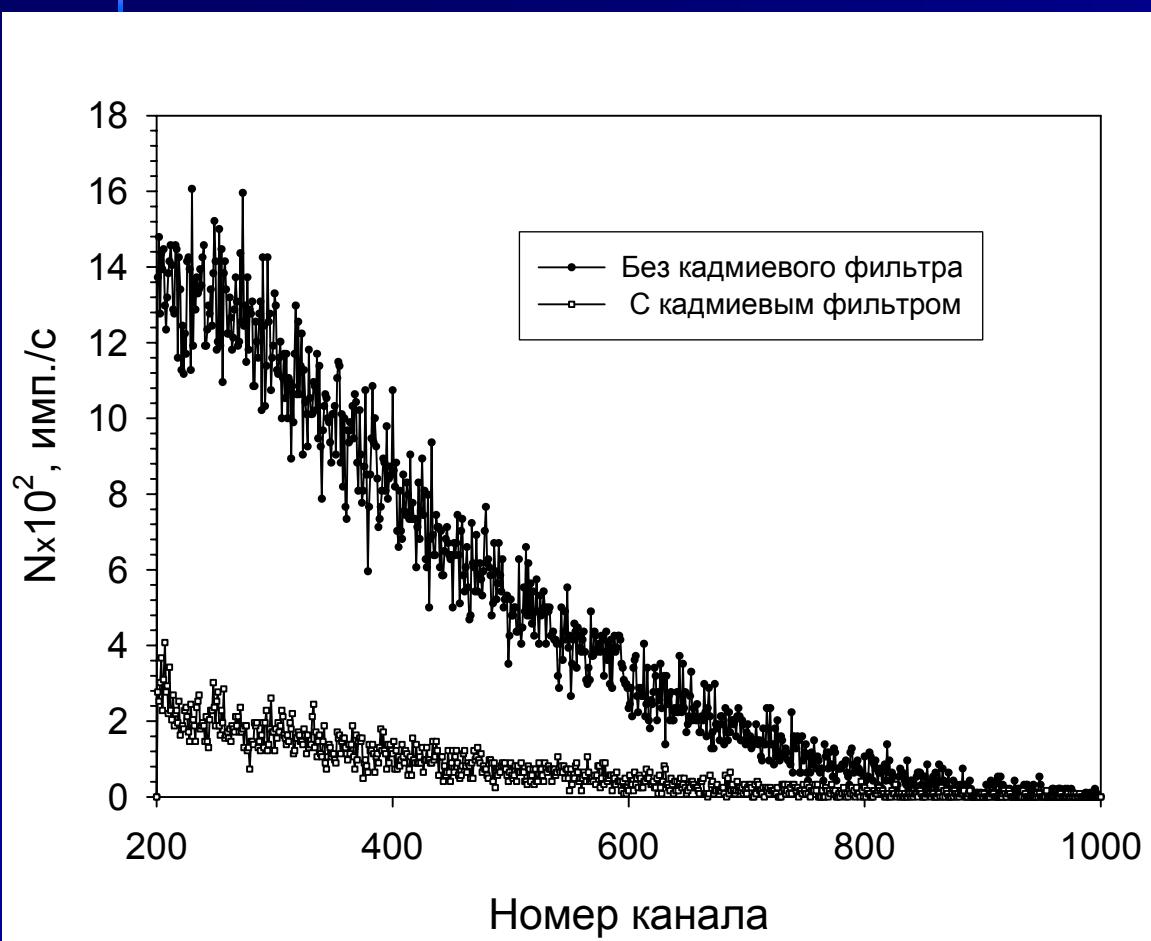


- Кристалл LiI(Eu)  
Ø13x13мм+SSPM\_
- 0611B4mm
- Эффективность  
65%
- Источник  
нейтронов RuBe –  
ИБН-25
- Энергетическое  
разрешение  
~14,5%
- Кадмиевое  
отношение - 4,5
- Содержание  $^{6}\text{Li}$  –  
7,56%

# Детекторы на основе сцинтиляционных экранов $^{6}\text{LiF}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ + SSPM

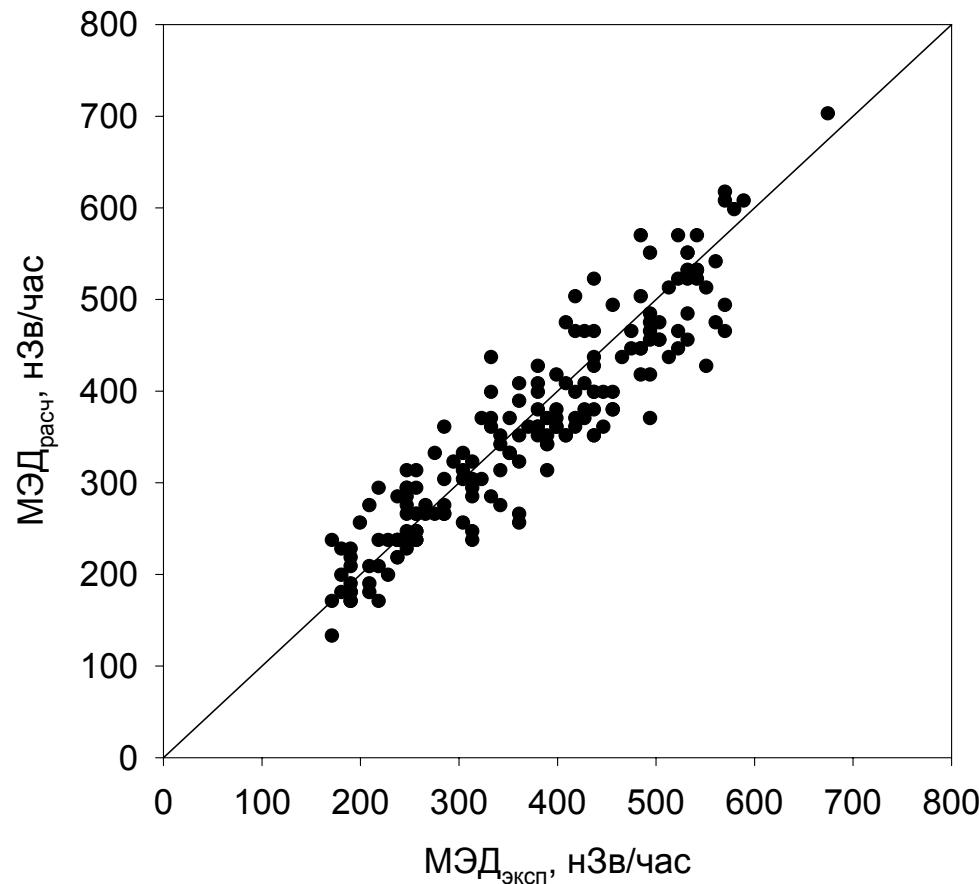


# Амплитудное распределение сигнала детектора $^{6}\text{LiF}/\text{ZnS}(\text{Ag}) + \text{SSPM}$

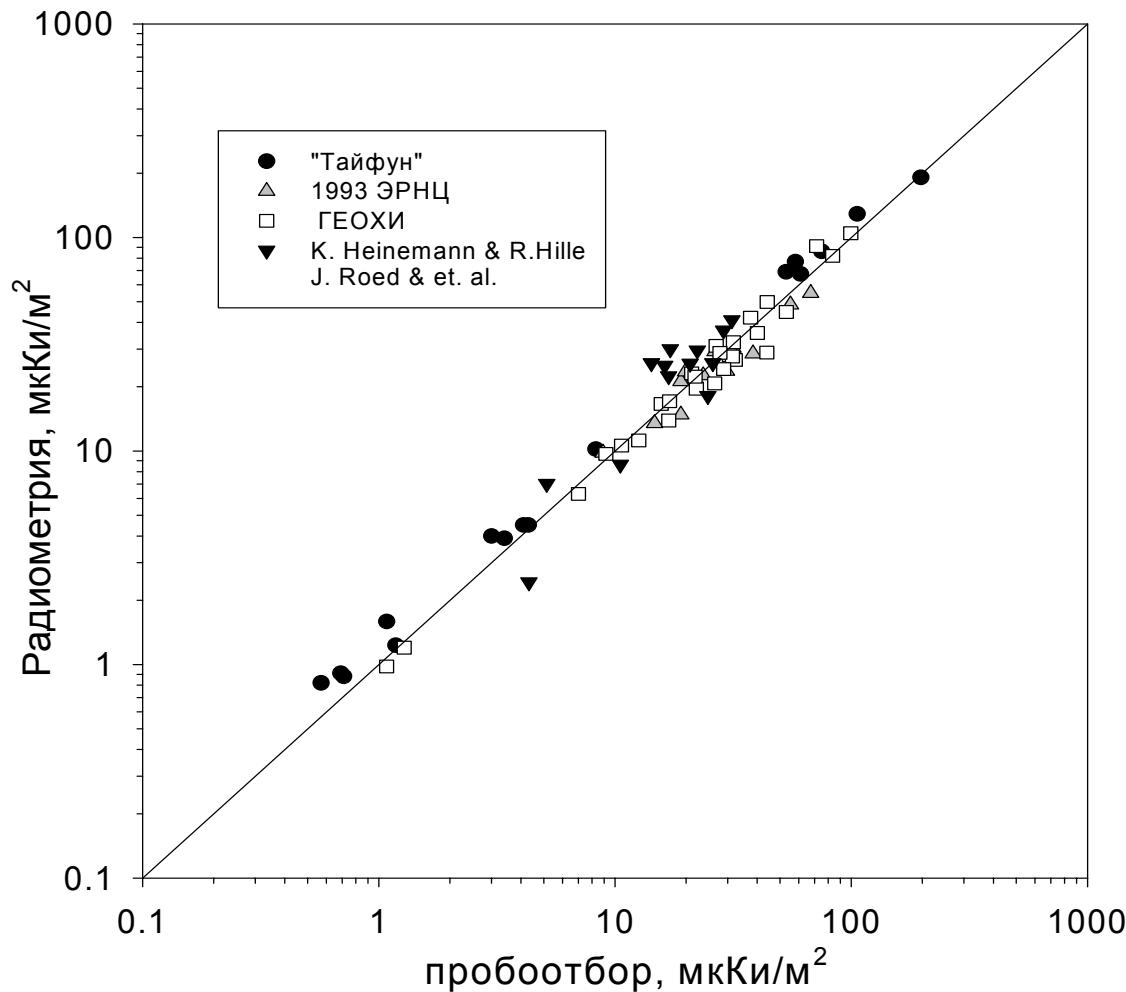


- Размер экрана  $\varnothing 10 \times 0,42$  мм
- Эффективность  $\sim 13\%$
- Источник нейтронов PuBe – ИБН-25
- Кадмievое отношение – 7,0
- Фокон – 25:1
- SSPM\_0611B4mm

# Сравнение рассчитанных и измеренных значений МЭД

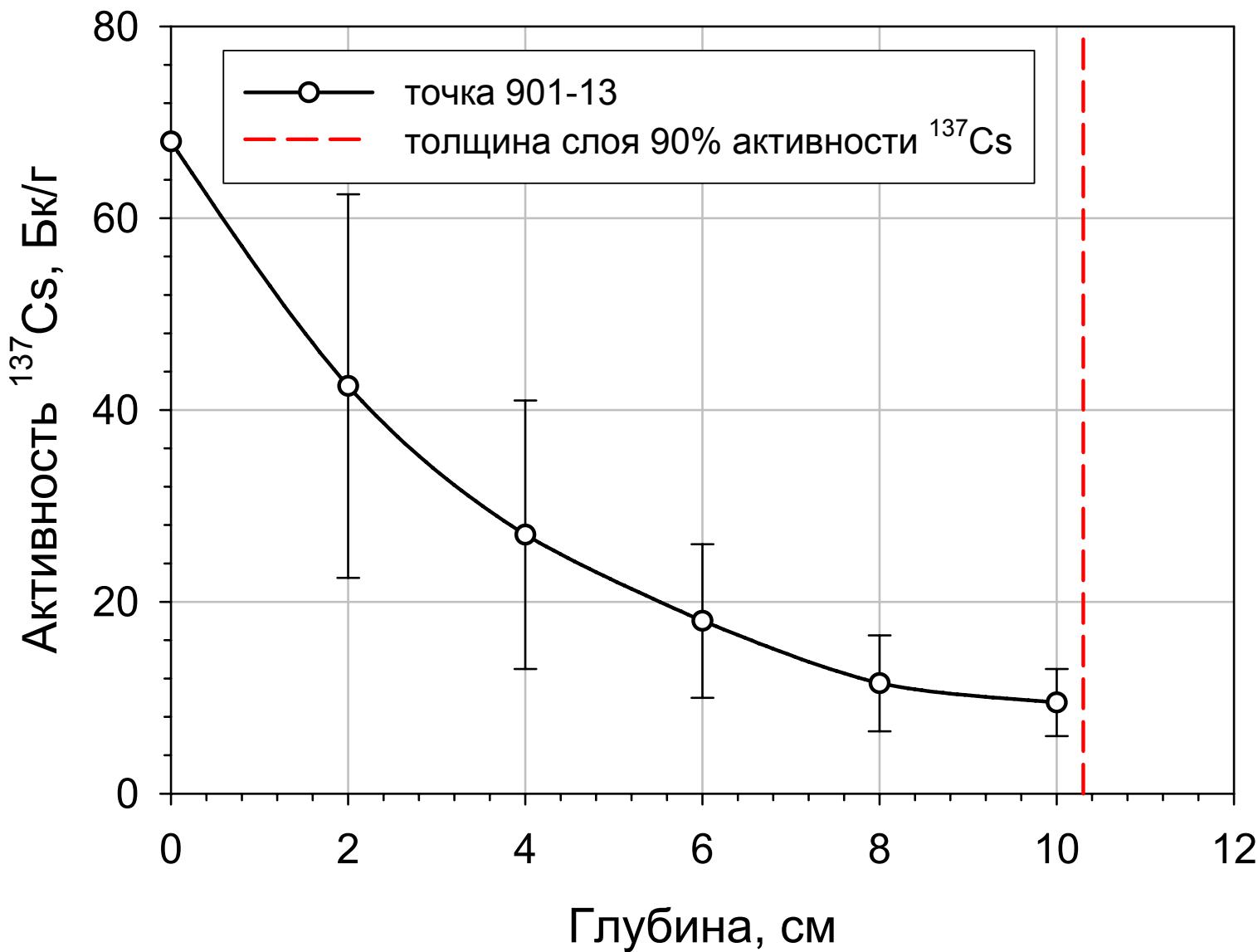


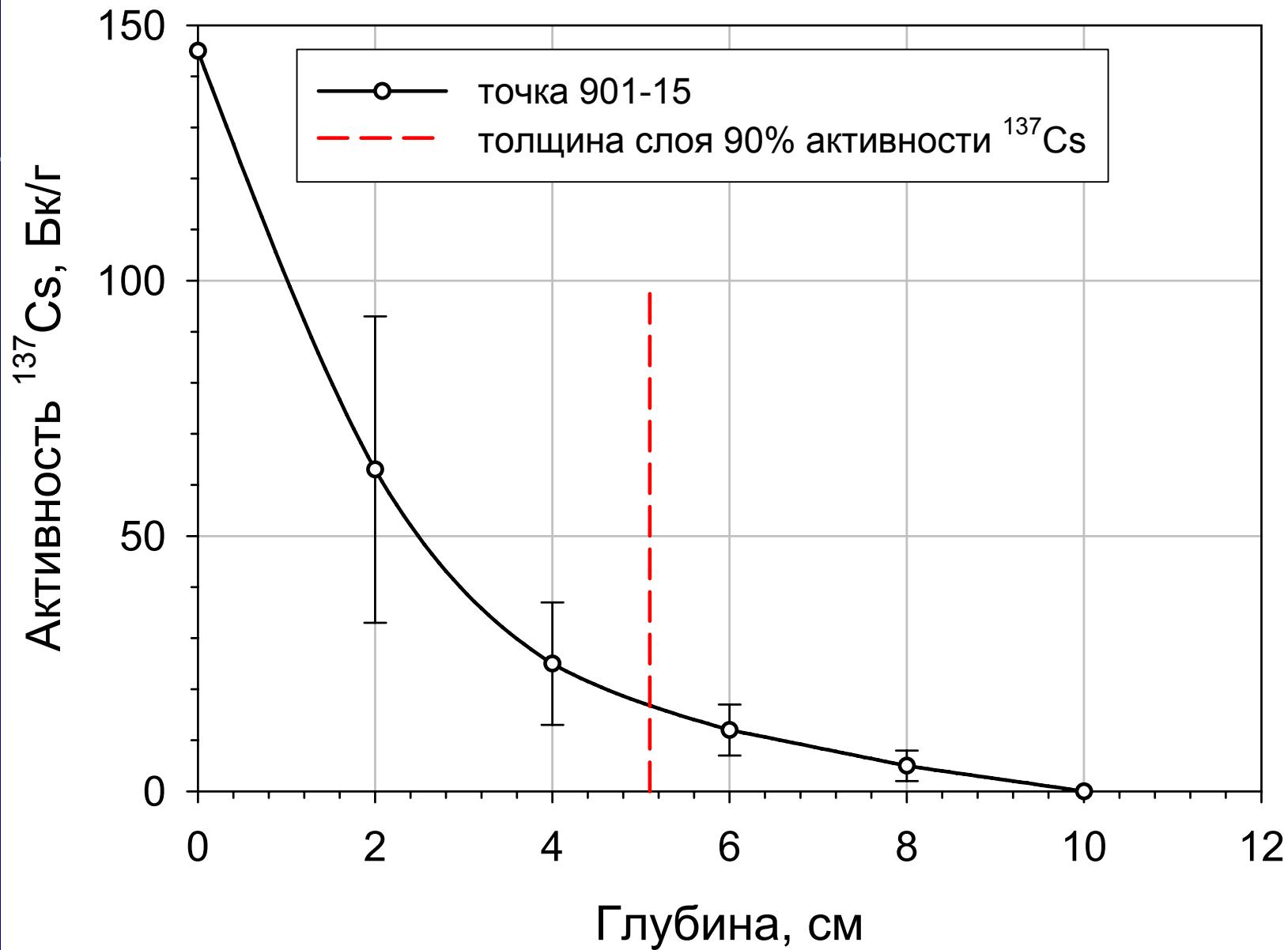
# Сравнение результатов измерений радиометром Корад и методом пробоотбора

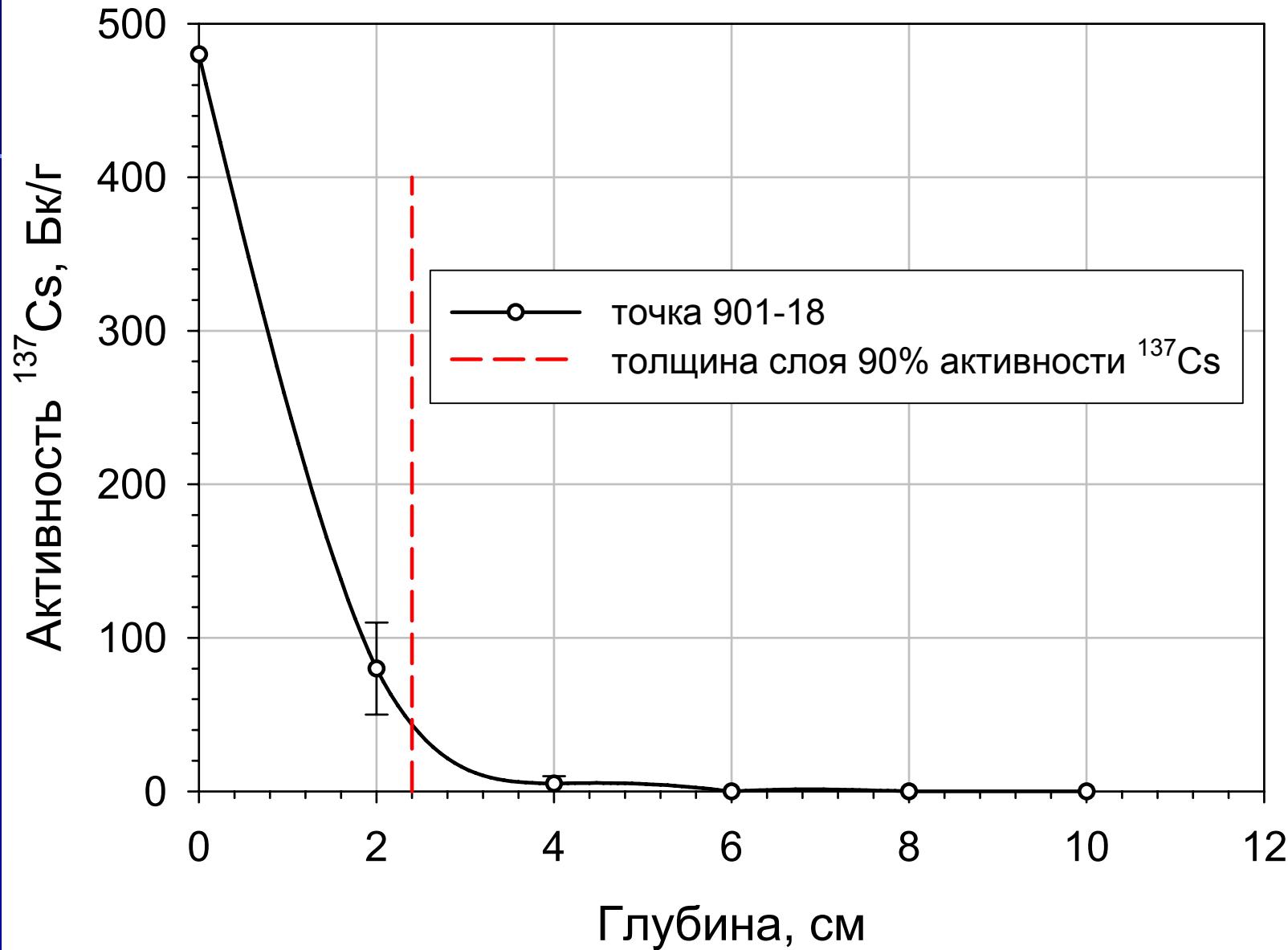


**Восстановленные и измеренные значения МЭД (мкР/час) на фронтальной стороне здания гаража (H – высота точки измерения над уровнем земли, S — расстояние от угла здания**

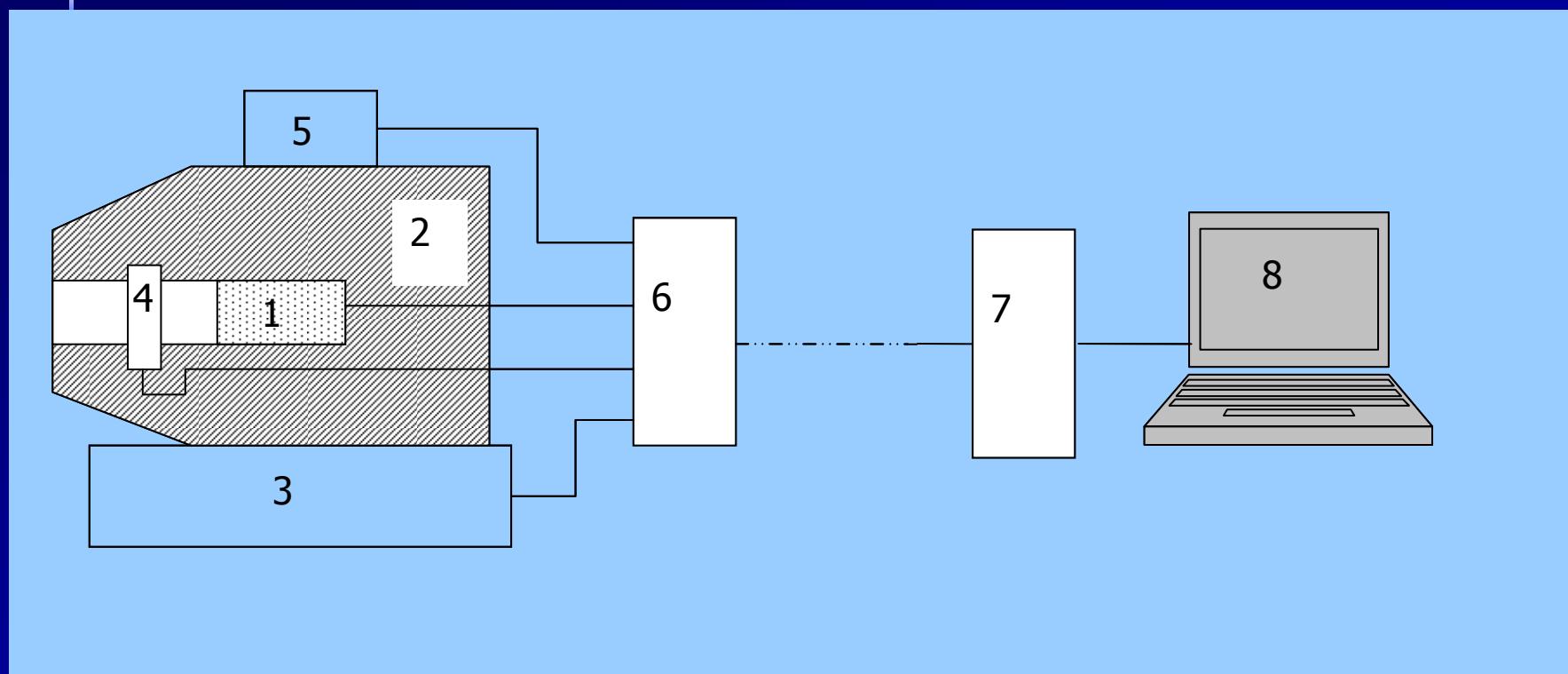
H, м	Расчет	Измерение	Расчет	Измерение	Расчет	Измерение	Расчет	Измерение
25	68,6	68	63,2	56	46,1	42	33,7	33
10	46,6	50	43,2	40	33,6	36	24,8	22
5	33,8	-	31,9	31	26,5	25	18,5	20
1	24,8	17	23,9	20	21,3	18	17,4	15
S, м	1		2 0		4 0		6 0	



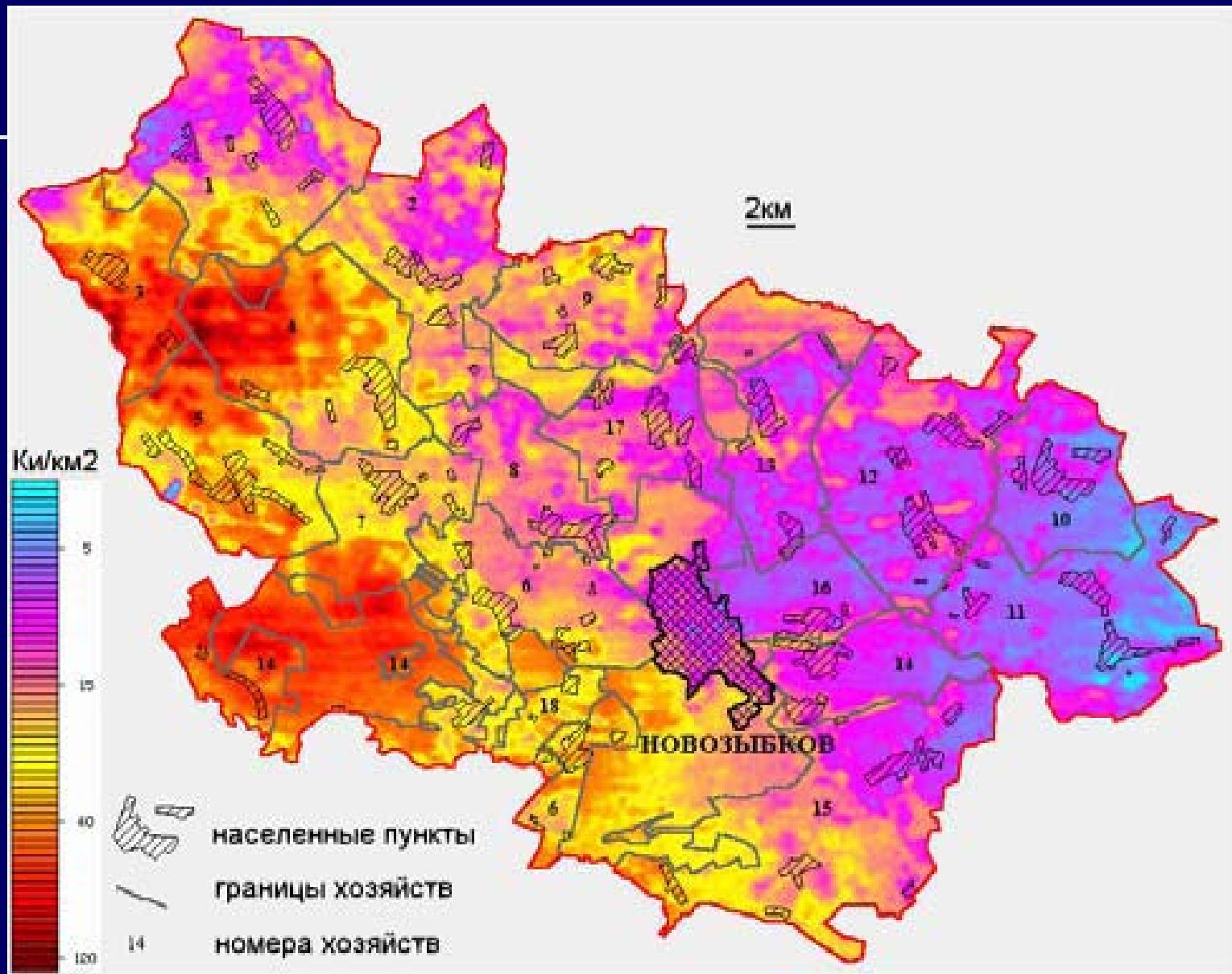




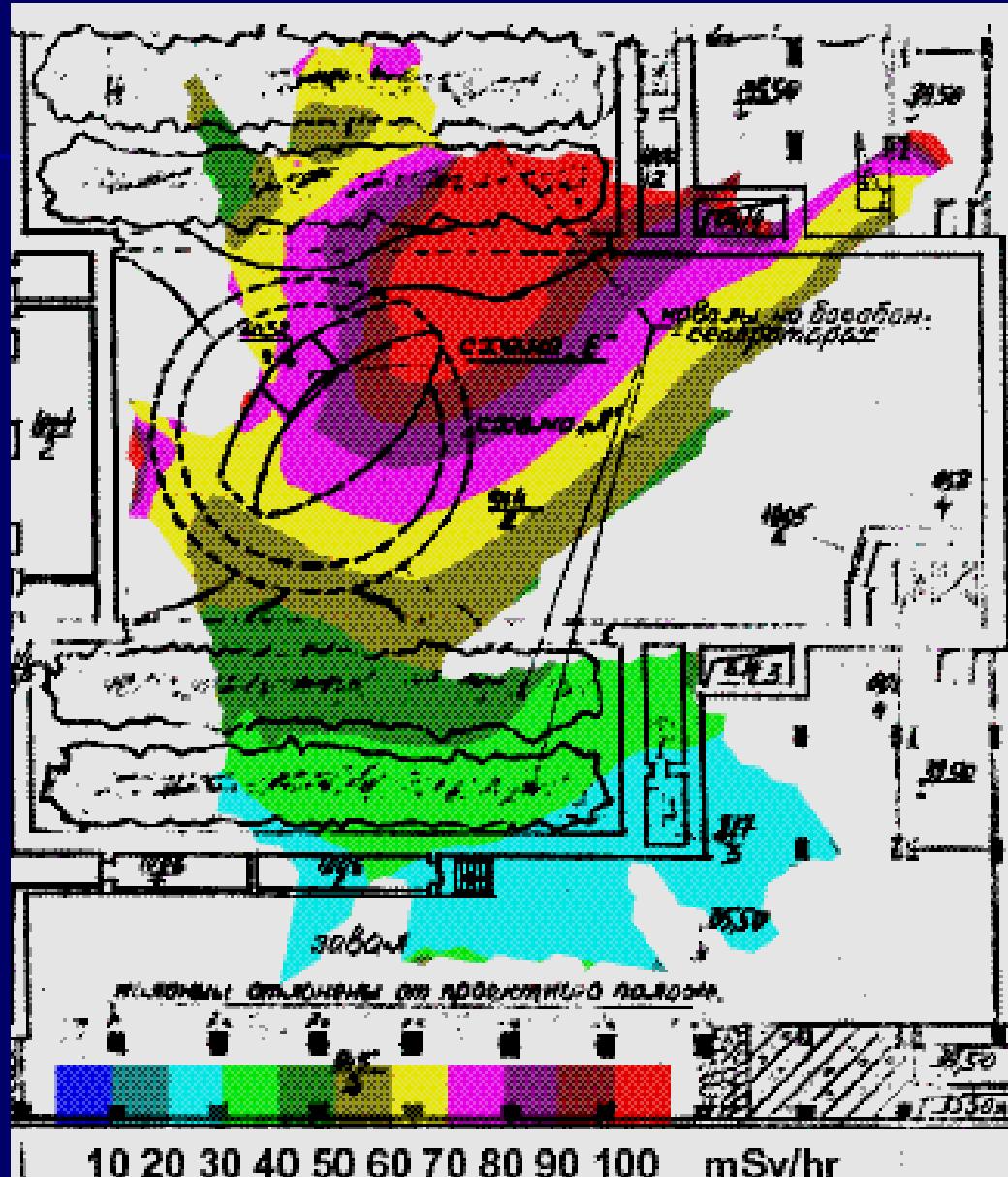
# Система дистанционных измерений радиоактивных загрязнений – гамма-локатор



# Новозыбковский район Брянской области



# Центральный (реакторный) зал IV блока ЧАЭС



# Распределение уд. активности Sr-90 в хранилище №6 (площадка ВХРАО)

