

# Погружные гамма-спектрометры – опыт применения и перспективы использования



Гришин Д.С.,  
Кучин Н.Л.,  
Кызьюров В.С.,  
Лайкин А.И.,  
Михеев Ю.В.  
Триумфов Н.Г.,  
\*Харитонов И.А.,  
Чистяков О.Б.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

\* ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

г. Санкт-Петербург



## Основное назначение погружных гамма-спектрометров:

1. Обнаружение, идентификация и измерение объемной активности гамма-излучающих радиоактивных веществ, растворенных в воде различных акваторий;
2. Обнаружение и идентификация точечных гамма-излучающих источников в подводных объектах;
3. Измерение и индикация эквивалентной мощности дозы гамма-излучения под водой.
4. Контроль технологических процессов и радиационной безопасности при работах с водной средой.



## Основные причины радиоактивного загрязнения морской среды

1. Глобальные выпадения радионуклидов за счет испытаний ядерного оружия в атмосфере;
2. Выпадение радионуклидов в результате аварий на суше с последующим смывом в акватории;
3. Сбросы (плановые и аварийные) и захоронения радионуклидов в водоемы в результате деятельности радиационно-опасных предприятий;
4. Затопление радиационно-опасных объектов с последующим выходом радионуклидов в водную среду.



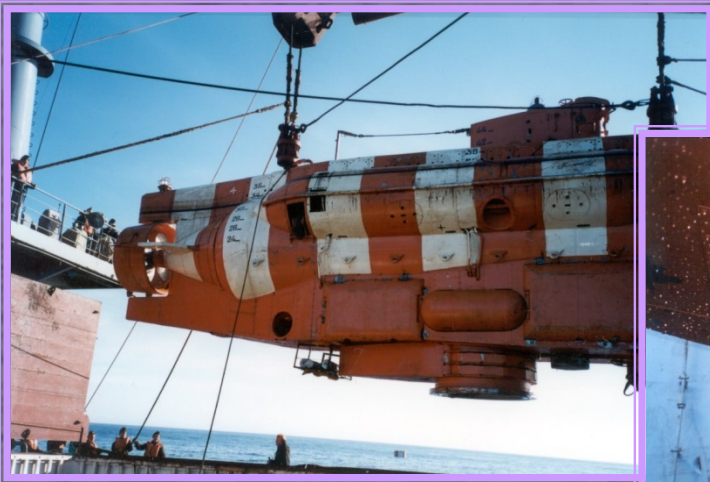
# Применение погружных гамма-спектрометров позволяет:

1. Оперативно оценить радиационно-экологическую ситуацию при авариях радиационно-опасных объектов в различных акваториях, оценить степень разрушения защитных барьеров, отделяющих радиоактивные вещества от внешней среды, оценить степень разрушения и состояния других внутренних конструкций корабля или судна, недоступных визуальному контролю;
2. Оперативно оценить масштабы и уровень радиоактивного загрязнения акватории, принять решение о целесообразности прекращения водозабора (если он существует в данном районе) или установлении его нового места;
3. Оценить возможность и безопасность проведения подводно-технических работ;
4. Оперативно оценить объем выхода радиоактивных материалов и его изотопный состав;
5. Использовать спектрометр как дополнительный канал при поиске и идентификации утерянных грузов;
6. Осуществлять долговременный мониторинг за выходом радиоактивных веществ в акваторию.



# Примеры использования погружных спектрометров Крыловского ГНЦ серии «ЭКО» на борту глубоководных аппаратов

Внешний вид погружного  
блока детектирования  
спектрометра ЭКО-5  
при установке его на  
глубоководный обитаемый  
аппарат "МИР"



Размещение  
спектрометра ЭКО-5 на  
борту глубоководного  
спасательного аппарата  
"АС-34"



# Примеры использования спектрометров Крыловского ГНЦ серии «ЭКО» с надводных судов

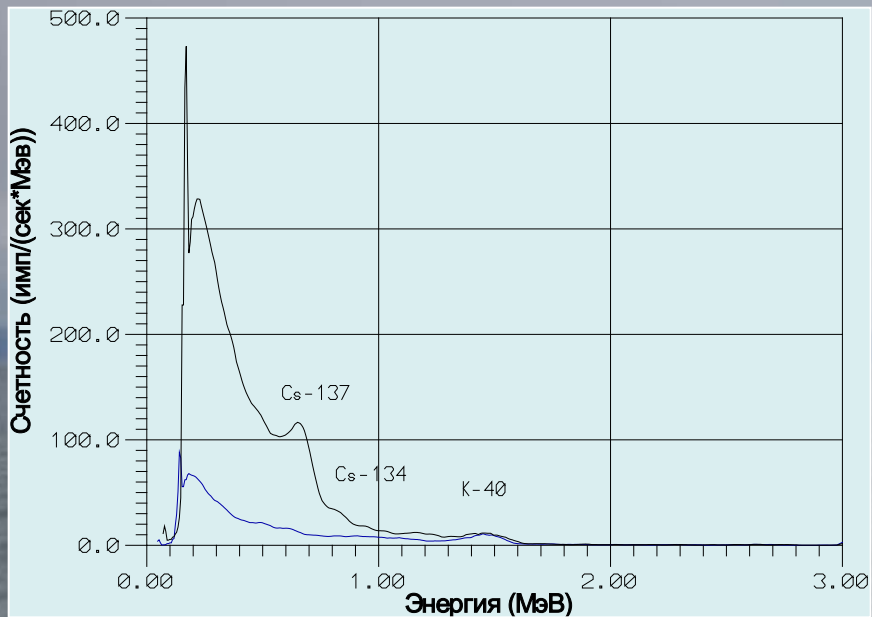
Внешний вид погружного блока  
детектирования спектрометра  
«ЭКО-8» и кабельной  
вьюшки при установке на ПЗО  
«Ландыш»



Спектрометра «ЭКО-7» на  
борту судна  
«С. Дежнев»



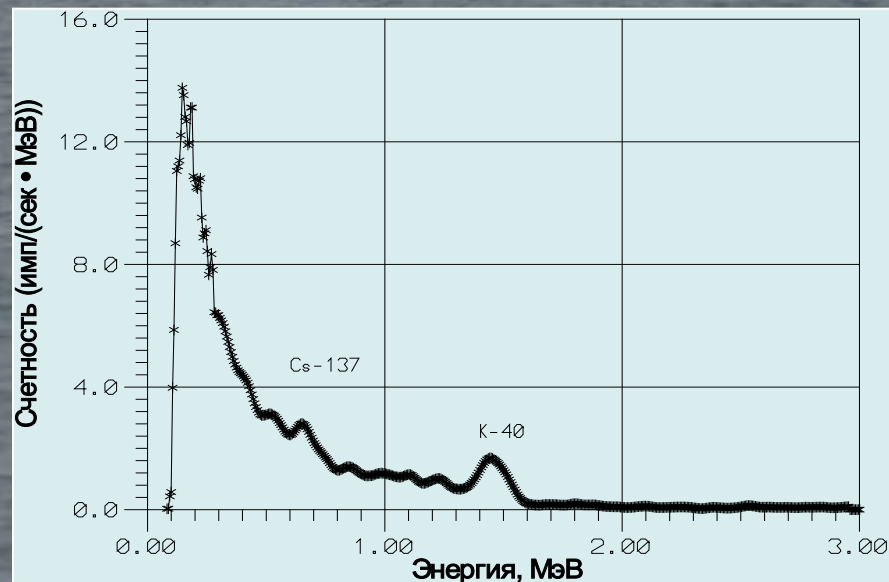
# Примеры энергетических спектров гамма-излучения под водой



————— около корпуса АПЛ  
"Комсомолец" (рядом с трубой  
вентиляции реакторного отсека)

----- на глубине 1100 м.

Балтийское море,  
точка N:55 30.0' E:18 53.9',  
глубина 17 м,  
 $A(^{137}\text{Cs})=100 \text{ Бк/м}^3$ ,  
ЭКО-5,  $T_{\text{изм.}}=2400 \text{ сек.}$   
16.06.92





# Спектрометры серии РЭМ РНИЦ "Курчатовский институт" (г. Москва)



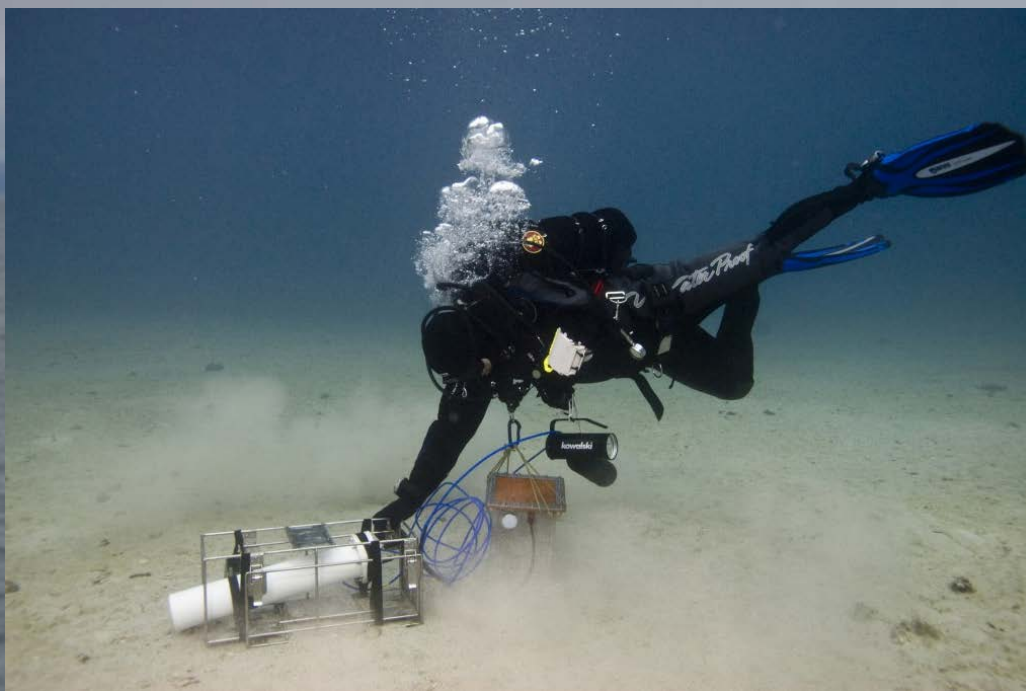


# Основные параметры подводных гамма-спектрометров серии РЭМ

Спектрометр	РЭМ-20К /20Т/20А	РЭМ-22	РЭМ-25	РЭМ-26М	РЭМ-21
Размер детектора NaI(Tl), мм	Ø200x200	Ø200x100	Ø75x180	Ø60x100	Ø40x60
Энергетический диапазон регистрации, МэВ	0,15-3,0; 0,2-8,0	0,15-3,0; 0,2-8,0	0,1-1,5; 0,15-3,0	0,1-1,5; 0,15-3,0	0,15-3,0
Предел обнаружения <sup>137</sup> Cs в морской воде за 1000 с, Бк/м <sup>3</sup>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>
Энергетическое разрешение для линии Cs-137, 662 кэВ, %	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
Максимальная глубина погружения, м	<b>300 /2000/6000</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>2000</b>	<b>2000</b>
Ресурс непрерывных измерений, ч	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>170</b>
Материал капсулы	Капролон/ Ti сплав/ Al сплав	Капролон	Капролон	Ti сплав	Нерж.сталь
Размеры, мм Макс. диаметр Макс. Высота	340/272/485 760/648/617	424 461	126 790	72 450 2180 (со штангой)	91 650
Вес спектрометра в сборе, кг В воздухе В воде	<b>80/75/70</b> <b>20/40/30</b>	<b>29</b> <b>4</b>	<b>10</b> <b>3</b>	<b>3</b> <b>1,5</b>	<b>10</b> <b>4</b>



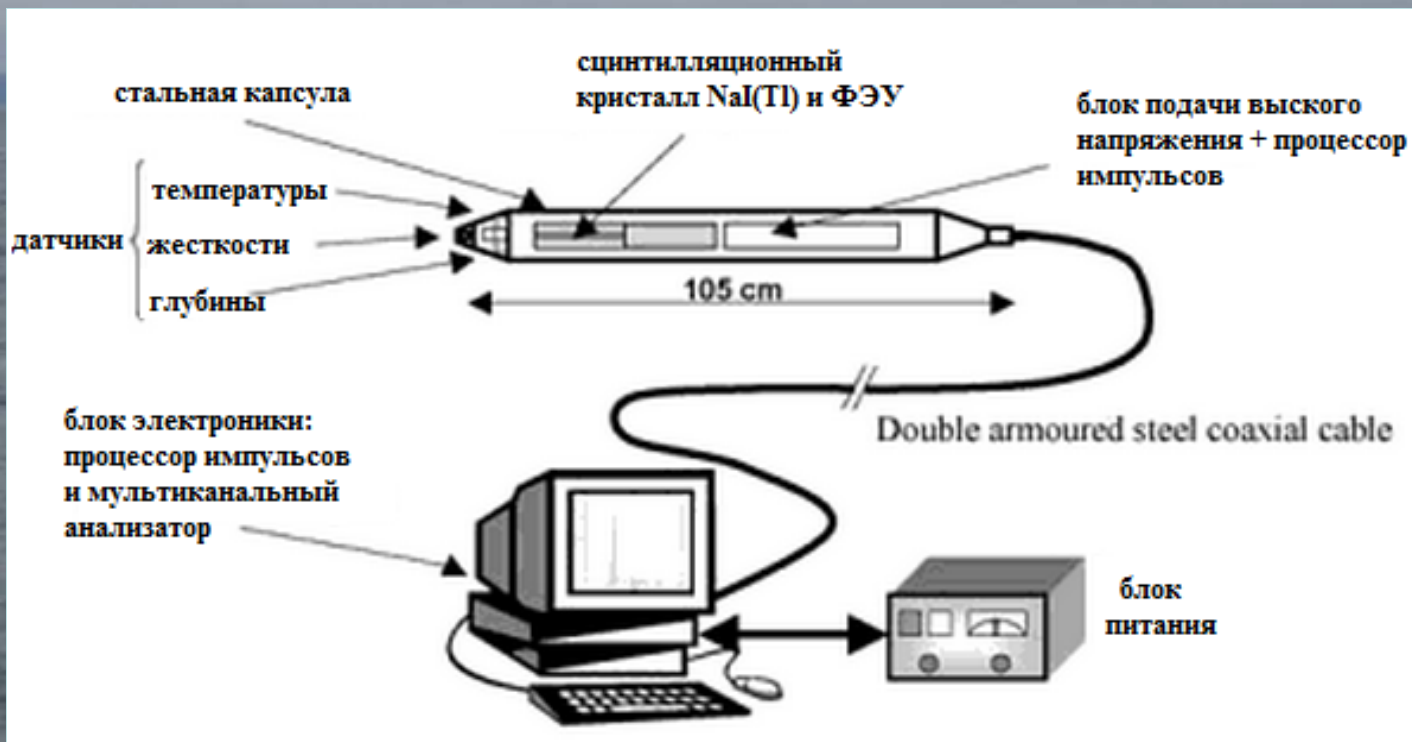
# Погружной гамма-спектрометр КАТЕРИНА (НСМР, Афины, Греция)



## Характеристики спектрометра:

Тип и размеры кристалла: NaI(Tl),  
Ø76×76 мм;  
Диапазон измерений: до 4000 кэВ;  
Минимально обнаружимая объемная  
активность  
по <sup>137</sup>Cs за время измерения 24 часа  
(вероятно, в пресной воде): 20 Бк/м<sup>3</sup>;  
Энергетическое разрешение по линии  
661,62 кэВ: ~7%;  
Количество каналов в спектре: 256, 512,  
1024 или 2048;  
Диапазон рабочих температур: -10°C ÷  
+50°C;  
Максимальная глубина погружения:  
400 м;  
Потребляемая мощность: 2,0 – 2,4  
Вт;  
Время работы в автономном режиме  
при использовании батареи емкостью 120  
А·ч: 20 – 25 дней;  
Протокол передачи данных: RS-232  
и/или USB;  
Масса: 6,85 кг;  
Габаритные размеры: Ø150×585 мм.

# Спектрометр разработки МАГАТЭ (Монако)





# Погружной полупроводниковый гамма-спектрометр разработки BSI (Рига, Латвия)



## Технические характеристики:

Энергетический диапазон: 40 – 3000 кэВ;

Эффективность регистрации: 30%;

Разрешение по линии 122 кэВ: 0,9 кэВ;

Разрешение по линии 1,33 МэВ: 1,9 кэВ;

Минимально обнаружимая активность  
 $^{137}\text{Cs}$  за время измерения 1 час: 259 Бк/м<sup>3</sup>

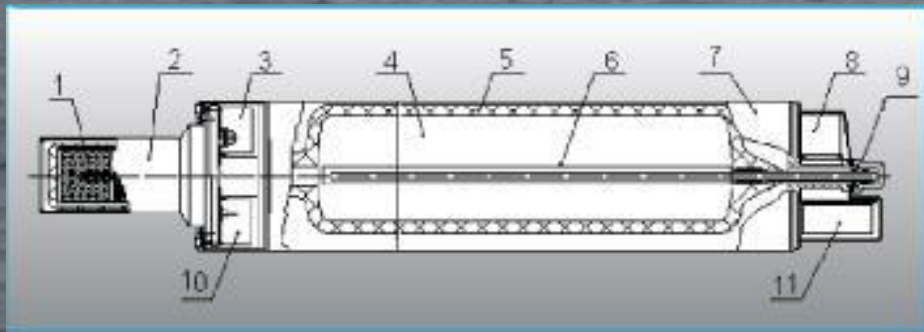
Глубина погружения: до 3000 м;

Время непрерывной работы после  
охлаждения: до 50 ч;

Масса спектрометра без защитной  
оболочки: 30 кг;

Масса оборудования для охлаждения  
жидким азотом: 56 кг;

Материал защитной капсулы: титан.





# Поверхностный погружной гамма-спектрометр разработки ВSI (Рига, Латвия)



## Технические характеристики:

Энергетический диапазон: 50 – 3500 кэВ;

Эффективность регистрации: от 10 до 160%;

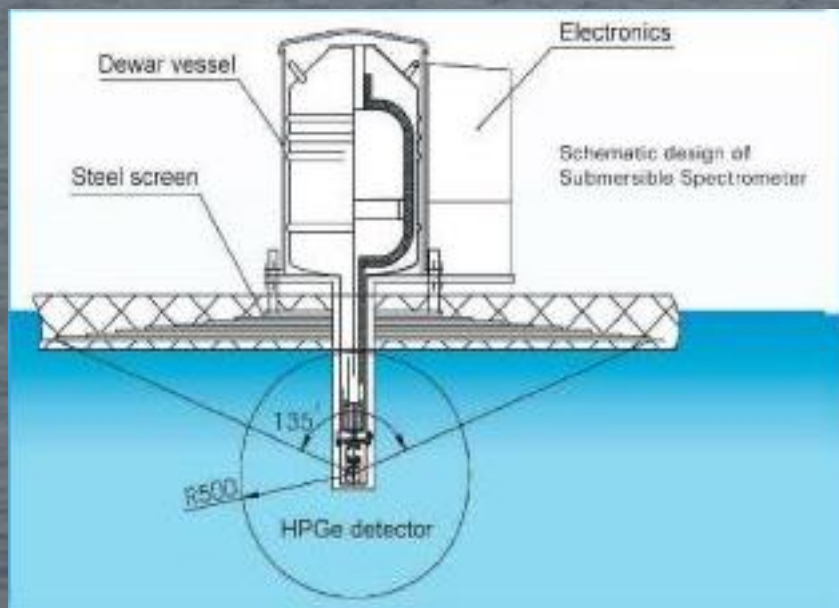
Разрешение по линии 122 кэВ: 1,0 кэВ;

Разрешение по линии 1,33 МэВ: 1,9 кэВ;

Минимально обнаружимая активность  $^{137}\text{Cs}$  за время измерения 1 час: 200 Бк/м<sup>3</sup>

Интегральная нелинейность: не более 0,5%;

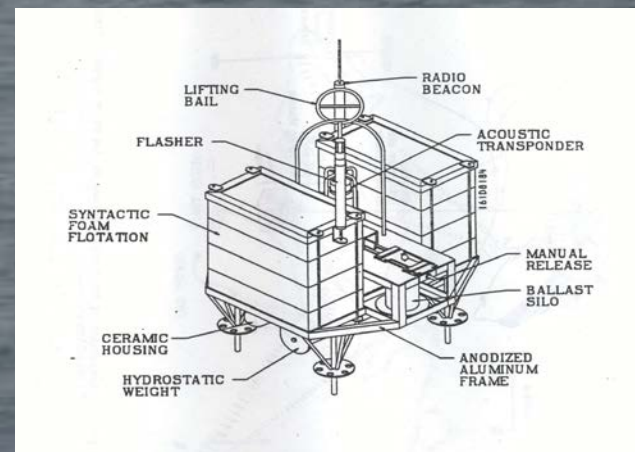
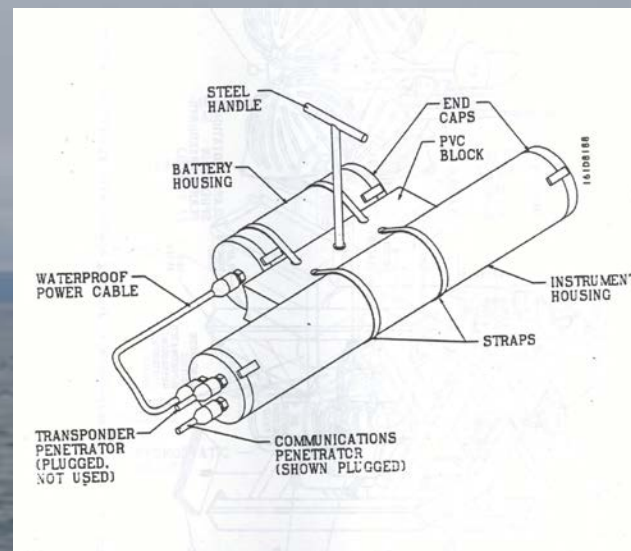
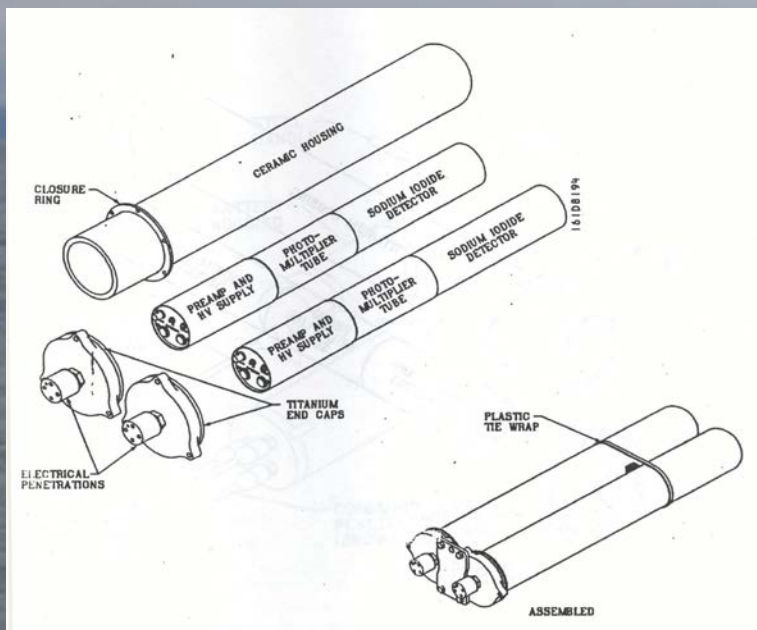
Время непрерывной работы: до 30 дней.





# Спектрометры разработки General Electric Co, Knolls Atomic Power Laboratory, USA.

Использование – обследование АПЛ «Трешер» и «Скорпион»





# Спектрометр ПРМ-К разработки ОАО НТЦ "РАТЭК" (Санкт-Петербург, Россия)



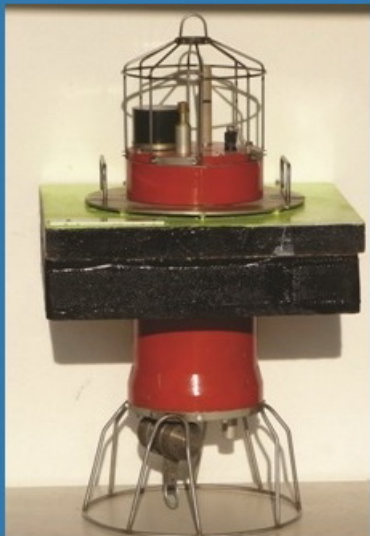
Подъем АПЛ «Курск»



Детектор NaI(Tl) 63x250 мм



# Спектрометры ООО «СИТЕКРИМ»



## Основные характеристики

Рабочая глубина, м	500 (опции -2000, 6000)
Вес в воздухе (без якоря), кг	44
Габаритные размеры, мм	870 x 520 x 520
Тип спутниковой связи	Иридиум и GPS
Продолжительность автономной работы, лет	1 (опция-2)
Тип элементов питания	литиевые, D, 3,6 V
РС интерфейс	RS-232
Детекторная головка	CsJ(TI) 19x45 мм
Минимально измеримая активность Cs137 Бк л <sup>-1</sup>	4-6
Энергетический диапазон регистрации $\gamma$ -квантов, МэВ	0,2-3
Энергетическое разрешение по твердому источнику Cs-137, %	не хуже 15
Объем хранения энергонезависимой памяти, спектров	450
Дальность гидроакустического вызова, м	1700 (8000)
Размыкатель	электрический

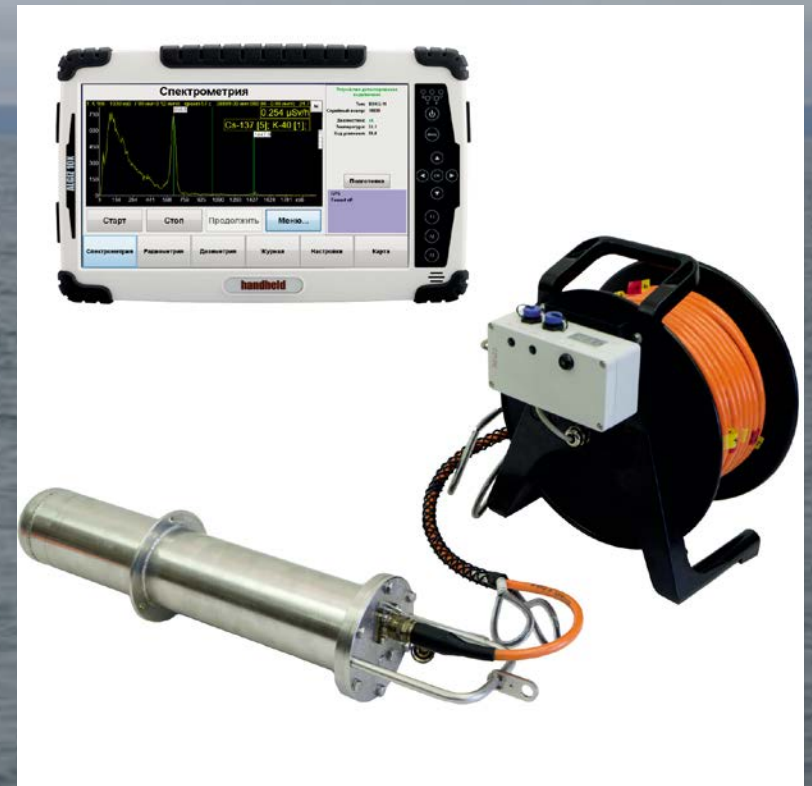




# Спектрометры АТОМТЕХ (Республика Беларусь)

## МКС-АТ6104ДМ, МКС-АТ6104ДМ1

Основные характеристики	МКС-АТ6104ДМ	МКС-АТ6104ДМ1
Детектор гамма-излучения	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø63x63 мм	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø63x160 мм
Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения	50 кэВ – 3 МэВ	
Идентифицируемые радионуклиды	137Cs, 134Cs, 131I, 40K, 226Ra, 232Th, 60Co, 24Na, 54Mn, 65Zn и др.	
Диапазон измерения удельной активности радионуклидов в воде в геометрии измерения 4л стерадиан		
134Cs, 137Cs, 131I, 60Co	3 – 1·10 <sup>6</sup> Бк/кг	1 – 1·10 <sup>6</sup> Бк/кг
40K	250 – 2·10 <sup>4</sup> Бк/кг	100 – 2·10 <sup>4</sup> Бк/кг
Диапазон измерения удельной активности радионуклидов в донных отложениях в геометрии измерения 2л стерадиан:		
134Cs, 137Cs,	50 – 1·10 <sup>5</sup> Бк/кг	20 – 1·10 <sup>5</sup> Бк/кг
Основная относительная погрешность измерения активности	не более ±30%	
Диапазон измерений мощности AMBIENTного эквивалента дозы	0,01 – 100 мкЗв/ч	
Основная относительная погрешность измерения мощности AMBIENTного эквивалента дозы	не более ±20%	





**1. Погружные гамма-спектрометры разработки КБ «Проминжиниринг» (совместно с ЗАО «Аспект») – Серия: УДЖГ-42Р**

**2. Спектрометр «К-1» разработки Navy Research Laboratory, San-Diego, USA.  
Использование – АПЛ «Комсомолец»**

**3. Погружной Спектрометр НТЦ «РАДЭК» для измерения удельной активности донных осадков в режиме буксировки.**

**4. Погружные спектрометры НПО "Тайфун" и ГЕОХИ им. Вернадского. Использование - совместные российско-норвежские экспедиции 1992 – 1994 года к архипелагу Новая Земля.**

**Детектор в монокристалл NaI(Tl) Ø 80 × 400 мм**



# Универсальный погружной гамма-спектрометр «ЭКО-10»

Состав спектрометра:

- бортовая часть:
  - Ø компьютер с пакетом программного обеспечения, обеспечивающим процесс измерения и обработки информации;
  - Ø блок питания и преобразования гамма-спектрометра
  - Ø бортовой кабель
- заборная часть:
  - Ø блок детектирования в герметичной капсуле
  - Ø подводный кабель



Один из вариантов гамма спектрометра  
«ЭКО-10»



## Основные свойства спектрометра ЭКО-10

- Спектрометр «ЭКО-10» является погружным высокочувствительным гамма-спектрометром на основе сцинтилляционного кристалла германата висмута (BGO). В устройстве используется кристалл размерами  $\varnothing 76 \times 76$  мм.
- Спектрометр может работать в двух режимах:
  - автономном (при питании бортовой части от собственных аккумуляторов и накоплении информации в оперативной памяти);
  - on-line (при постоянной передаче информации с датчика на бортовой компьютер).
- Спектрометр может быть использован как с подводного телеуправляемого аппарата, так и любого надводного судна или с глубоководного обитаемого аппарата.

# Функциональная схема погружного гамма-спектрометра ЭКО-10





ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

## Способы применения спектрометра

- датчик спектрометра располагается на внешних конструкциях глубоководного обитаемого аппарата, бортовая аппаратура внутри аппарата;
- датчик спектрометра располагается на внешних конструкциях глубоководного телеуправляемого аппарата, бортовая аппаратура в месте размещения управляющего комплекса;
- датчик спектрометра в автономном варианте располагается на внешних конструкциях глубоководного обитаемого, телеуправляемого или автономного аппарата;
- датчик спектрометра в автономном варианте устанавливается глубоководным обитаемым или телеуправляемым аппаратом в точку долговременных измерений;
- датчик спектрометра опускается с надводного судна (в том числе вручную) в точку измерений на глубину до 100 метров на собственном глубоководном кабеле, приемная аппаратура на борту судна;
- датчик спектрометра в автономном варианте опускается с надводного судна на собственном кабеле или судовом тресе на глубину измерений или проводится зондирование до 2000 метров на судовом тресе.



## Основные технические характеристики гамма-спектрометра «ЭКО-10»

*Спектрометр обеспечивает при времени не более 30 минут определение следующих величин:*

- обнаружение, идентификацию и измерение объемной активности гамма-излучающих радиоактивных веществ, растворенных в морской воде, с объемной активностью по  $^{137}\text{Cs}$  – более  $500 \text{ Бк/м}^3$ ;
- обнаружение и идентификацию точечных гамма-излучающих источников в подводных объектах на расстоянии до 30 см при их активности в эквиваленте  $^{137}\text{Cs}$  – более  $10^4 \text{ Бк}$  (без специальной экранирующей защиты);
- индикацию эквивалентной мощности дозы гамма-излучения под водой в диапазоне  $1 \text{ нЗв/час} – 10 \text{ мкЗв/час}$ .
- диапазон измерения объемной активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в морской воде (при солёности 35‰) –  $5 \cdot 10^2 \div 3 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3$



## Другие характеристики спектрометра «ЭКО-10»

- Рабочая глубина для заборной части устройства не менее 2000 метров, для работы в мелководных акваториях – 50 метров.
- Количество свободных жил при работе в режиме on-line в кабеле подводного телеуправляемого аппарата - 4 (плюс общая шина корпуса аппарата).
- Рабочая температура для заборной части спектрометра от - 2 до +30°C.
- Время непрерывной работы в автономном режиме не менее 50 часов.
- Время работы в автономном режиме при выборе соответствующего периода измерений и паузы до 1 года при использовании батареи или до 2 месяцев при использовании аккумуляторов.
- Время установления рабочего режима не более 10 мин.
- Длина кабеля при погружении заборной части на собственном кабеле – не менее 100 метров
- Масса заборной части комплекса - 8 кг (для глубин меньше 50 метров – 6 кг).
- Габаритные размеры заборной части комплекса:
  - наружный диаметр -113 мм в титановой капсуле,
  - длина не более 468 мм.
- стандарт передачи данных – RS-485 (422).





ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

# СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

**RU.C.38.001.A № 53501**

Срок действия до **18 декабря 2018 г.**

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

**Гамма-спектрометры универсальные погружные СЕГ-ЭКО-10**

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

**ФГУП "Крыловский государственный научный центр", г Санкт-Петербург**

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № **55950-13**

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ

**ИМЯН.412131.604.00.00Д**

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ **2 года**

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от **18 декабря 2013 г. № 1482**

Описание типа средств измерений является обязательным приложением к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя  
Федерального агентства

Ф.В.Булыгин



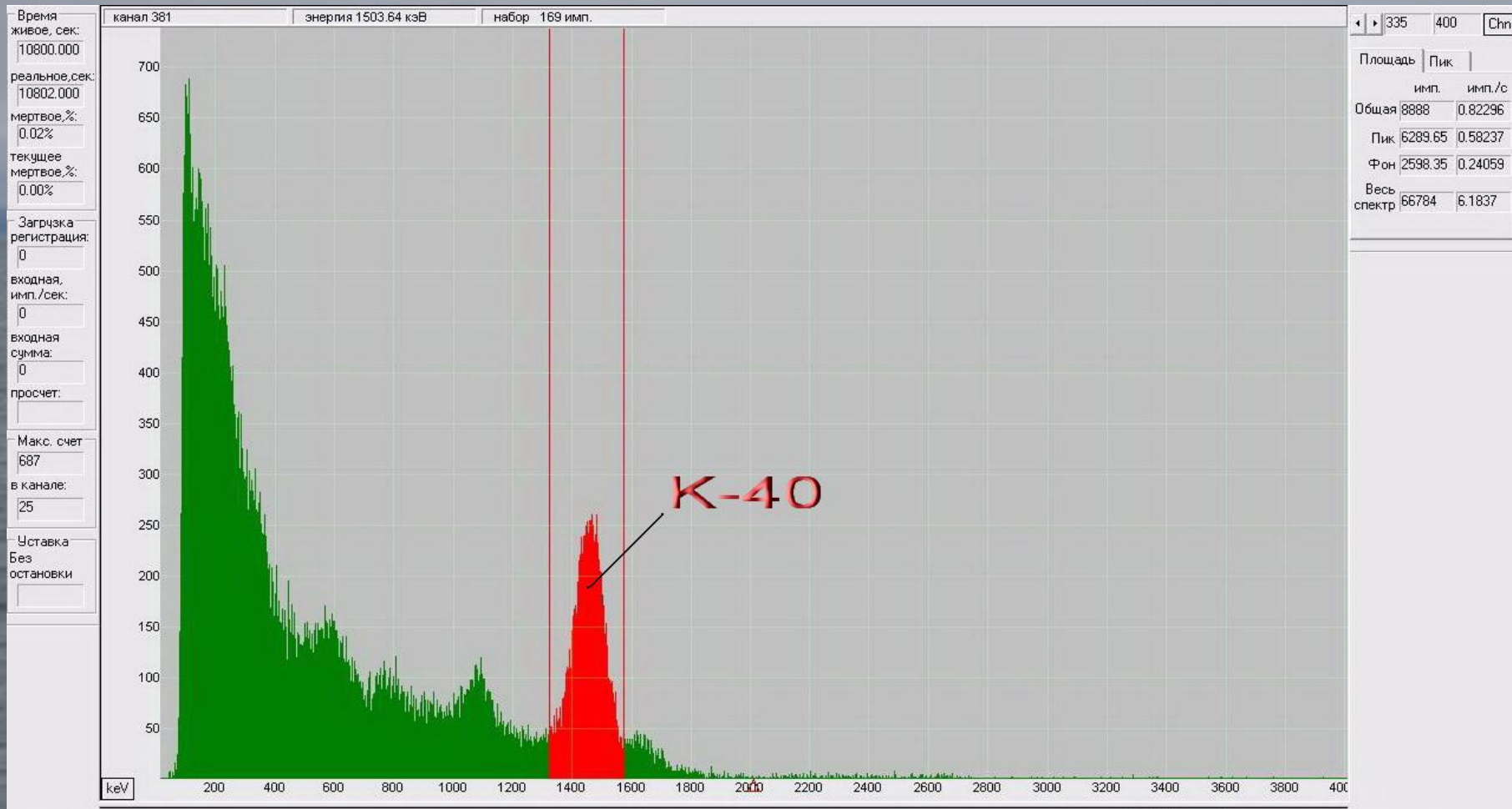
26 12 2013 г.

Серия СИ

№ **013150**

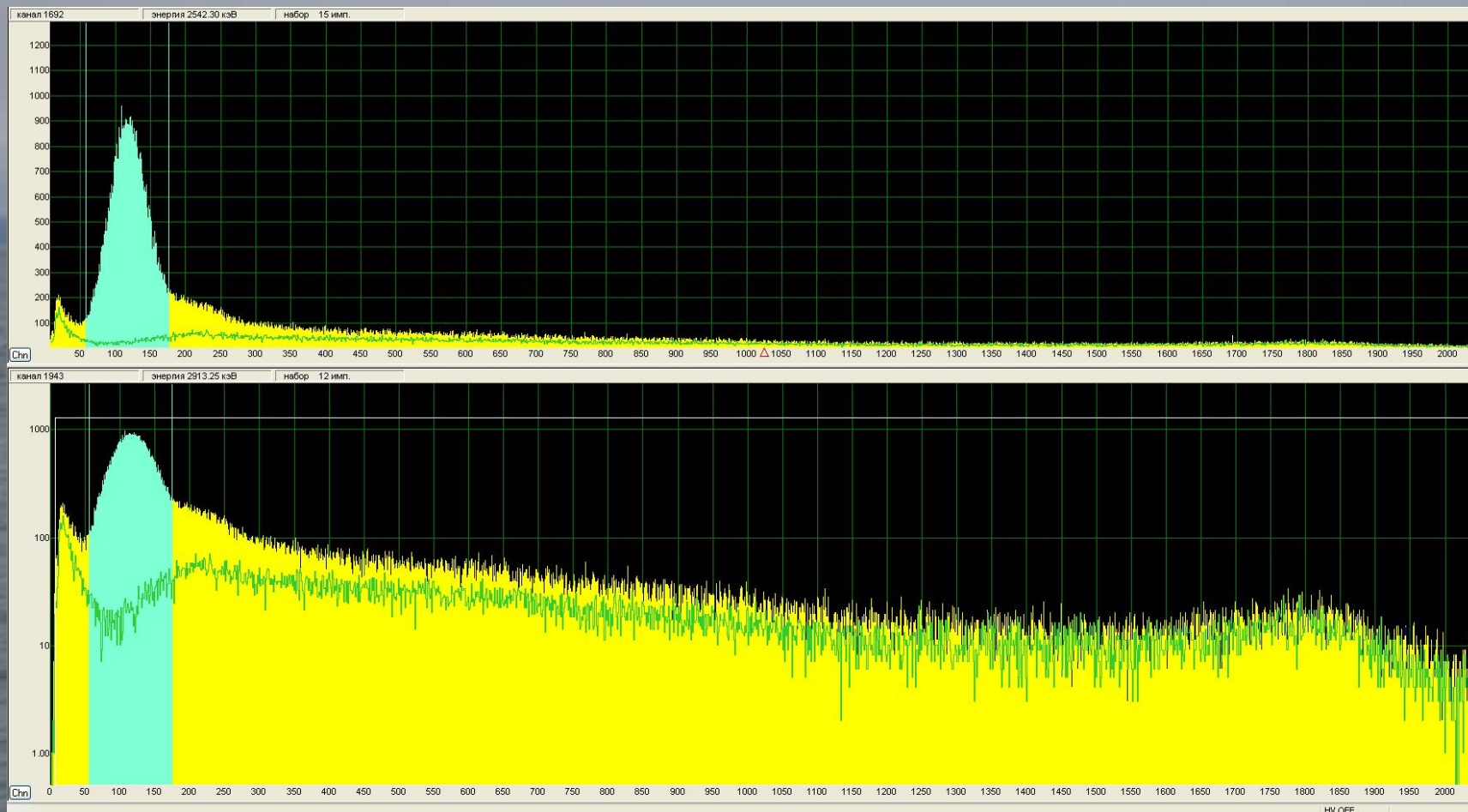


# Энергетический спектр гамма-излучения в морской воде. Залив Цивольки, глубина 30 м, T = 3 часа, 2013.





# Энергетический спектр гамма-излучения под водой от точечного источника ( $^{241}\text{Am}$ , $10^{10}$ Бк) на дне озера на дистанции 50 см



# Метрологическая калибровка и поверка погружных гамма-спектрометров и радиометров

## Стенд метрологической аттестации и определения чувствительности погружных гамма-детекторов и радиометров «ГРАД»

Стенд предназначен для проведения метрологической проверки и градуировки погружных гамма-спектрометров и радиометров с помощью образцовых растворов радиоактивных изотопов.

В состав стенда входят:

- Две стальные цилиндрические емкости объемом по 48 м<sup>3</sup> с общей площадкой обслуживания, гидротехнические коммуникации и электроталь грузоподъемностью 500 кг;
  - Две цилиндрические емкости из нержавеющей стали объемом по 3,5 м<sup>3</sup> с общей площадкой обслуживания, гидротехнические коммуникации и электроталь грузоподъемностью 500 кг;
  - Вспомогательная емкость объемом 0,2 м<sup>3</sup> для дезактивации оборудования;
- два воздушных компрессора для перемешивания растворов;  
устройства и оборудование для приготовления растворов;  
измерительная и лабораторная аппаратура, вычислительная техника и программное обеспечение.

По результатам поверки или градуировки выдается протокол испытаний и при необходимости — свидетельство государственного образца. Свидетельство выдает ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».





# Перспективы развития погружных гамма-спектрометров.

1. Оснащение спектрометров гидроакустическим каналом передачи информации:

- дальность 8 – 9 км;
- скорость 5кбит/с;
- глубина 6 км;
- автономность до 1 года.

2. Разработка тонуще-всплывающего гамма-спектрометра с гидроакустическим каналом связи.

3. Разработка новых типов детекторов с высокой эффективностью, высоким разрешением и низким загрязнением радиоактивными изотопами

4. Разработка технологии производства надежных глубоководных капсул из современных материалов (углепластика, металлокерамики и т.п.)



ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

## *Спасибо за внимание*

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр»  
Россия, 196158, г. Санкт-Петербург,  
Московское шоссе, 44  
<http://krylov-center.ru>*

*ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,  
Московский пр. 19*

*С техническими вопросами обращаться: Лайкин Андрей Игоревич  
Тел: +7(812)567-85-36, факс: +7(812)587-93-49  
[laykin@mail.ru](mailto:laykin@mail.ru)*