

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.



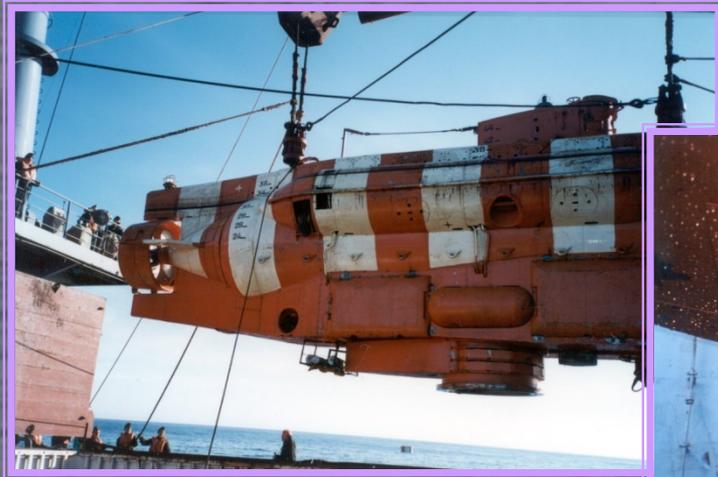
Применение погружных гамма-спектрометров позволяет:

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"

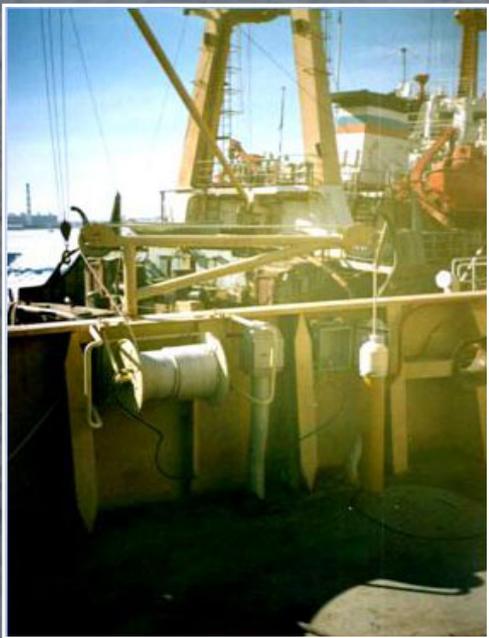


Размещение спектрометра ЭКО-5 на борту глубоководного спасательного аппарата "АС-34"



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

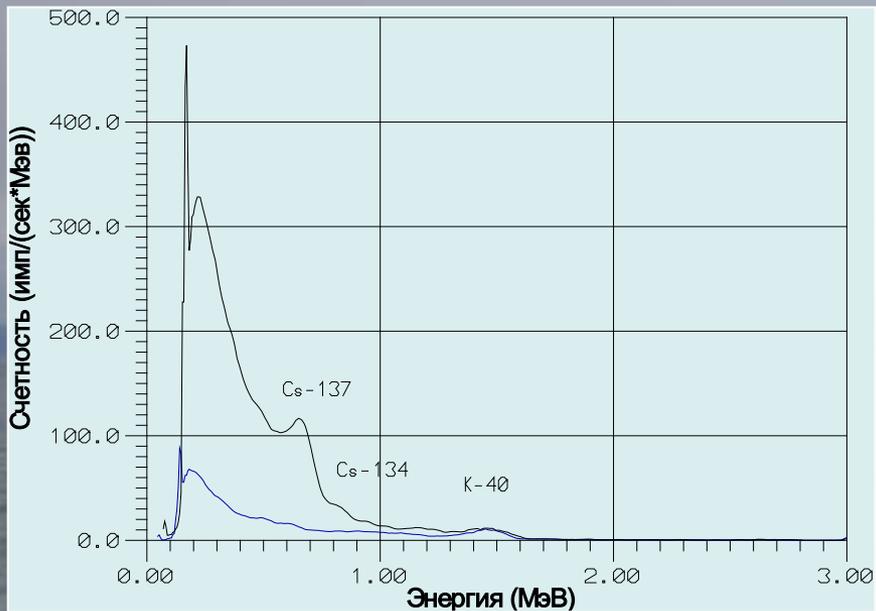
Внешний вид погружного блока
детектирования спектрометра
«ЭКО-8» и кабельной
вьюшки при установке на ПЗО
«Ландыш»



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



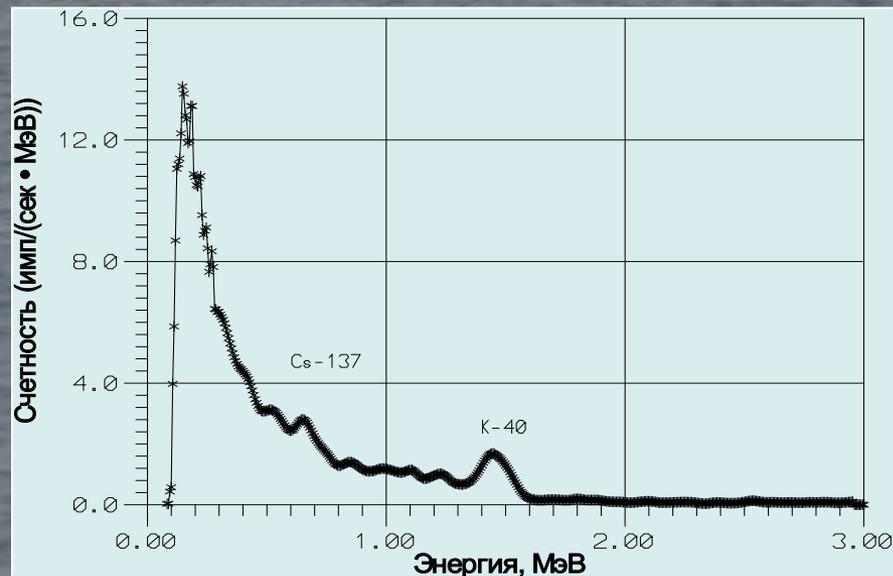
Примеры энергетических спектров гамма-излучения под водой



————— 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)

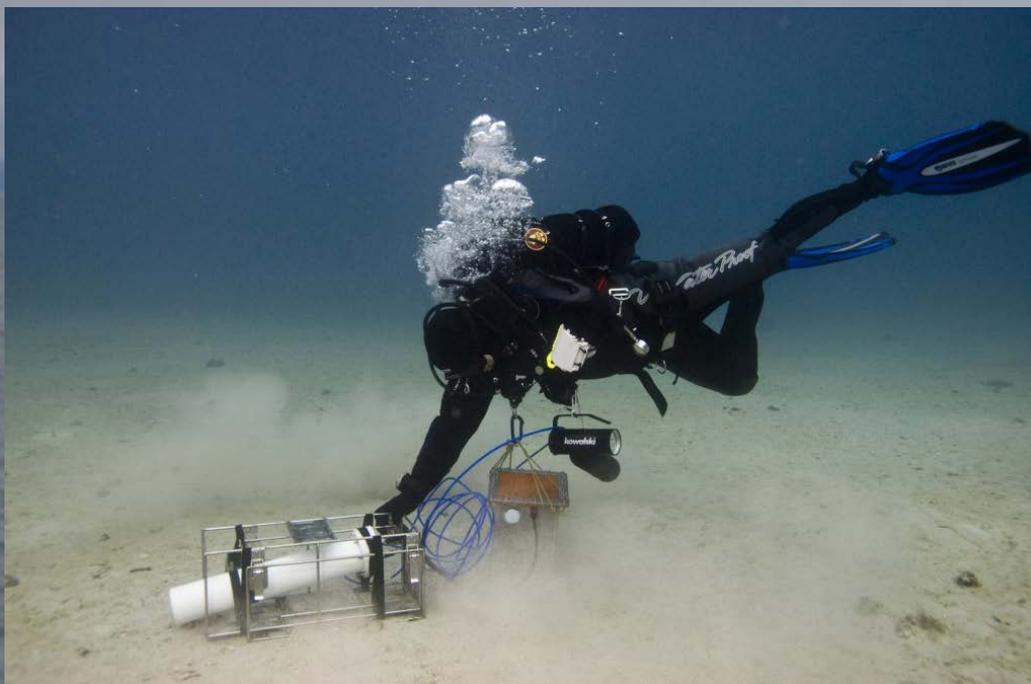


Основные параметры подводных гамма-спектрометров серии РЭМ

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 ¹³⁷ Cs в морской воде за 1000 с, Бк/м ³	50	70	100	200	400
Энергетическое разрешение для линии Cs-137, 662 кэВ, %	12	10	8	8	10
Максимальная глубина погружения, м	300 /2000/6000	300	300	2000	2000
Ресурс непрерывных измерений, ч	50	50	50	10	170
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	80/75/70 20/40/30	29 4	10 3	3 1,5	10 4



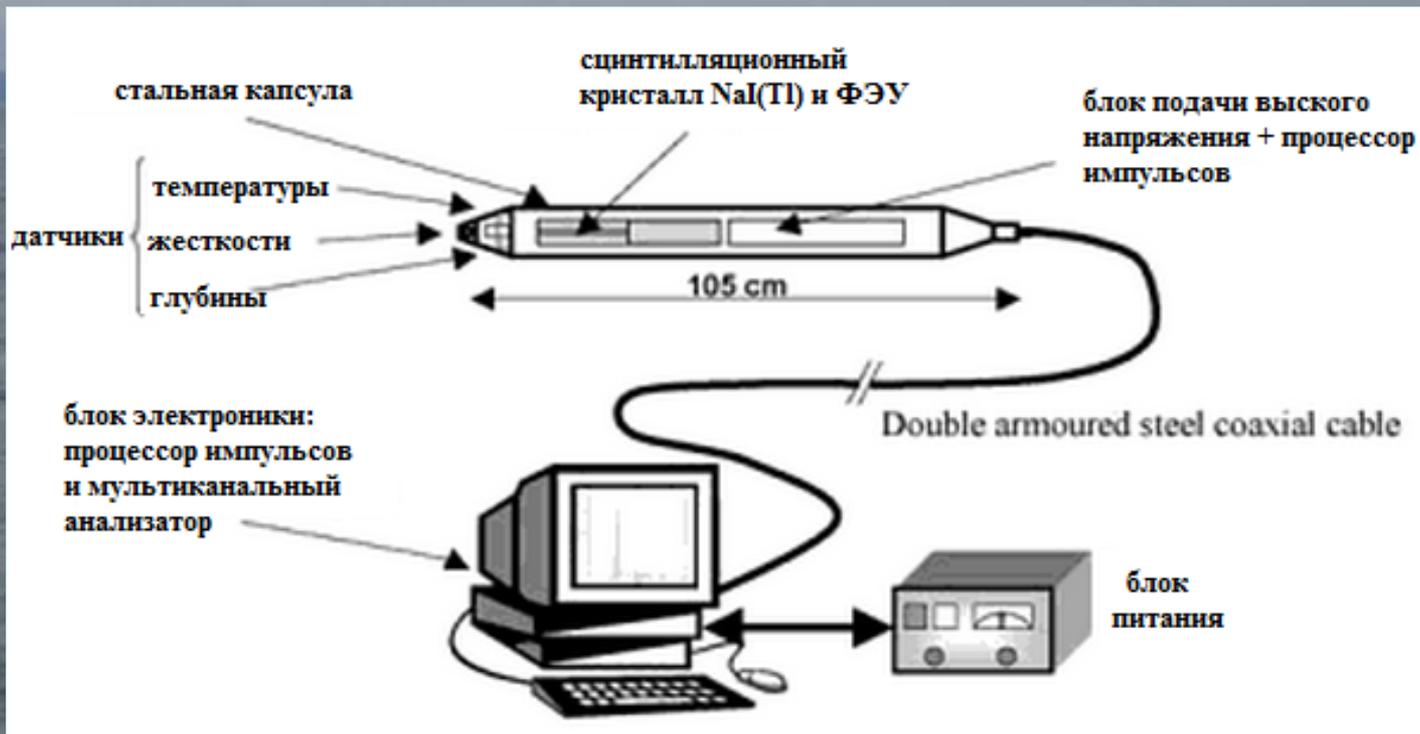
Погружной гамма-спектрометр КАТЕРИНА (НСМР, Афины, Греция)



Характеристики спектрометра:

Тип и размеры кристалла: NaI(Tl),
Ø76×76 мм;
Диапазон измерений: до 4000 кэВ;
Минимально обнаружимая объемная
активность
по ¹³⁷Cs за время измерения 24 часа
(вероятно, в пресной воде): 20 Бк/м³;
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}Cs за время измерения 1 час: 259 Бк/м³

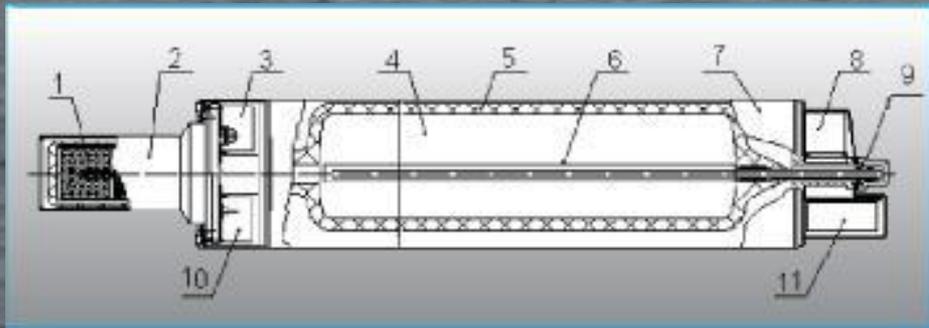
Глубина погружения: до 3000 м;

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 ВСИ (Рига, Латвия)



Технические характеристики:

Энергетический диапазон: 50 – 3500 кэВ;

Эффективность регистрации: от 10 до 160%;

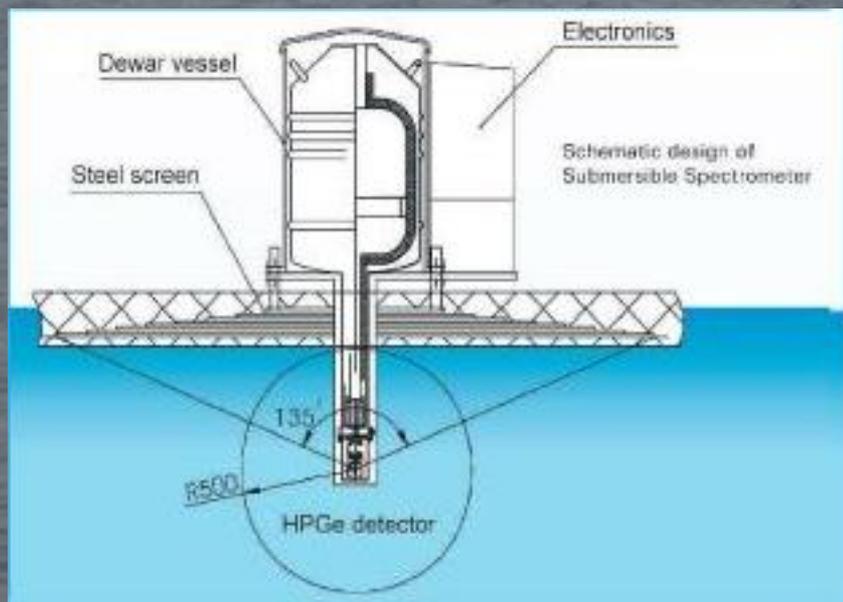
Разрешение по линии 122 кэВ: 1,0 кэВ;

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

Минимально обнаружимая активность ^{137}Cs за время измерения 1 час: 200 Бк/м³

Интегральная нелинейность: не более 0,5%;

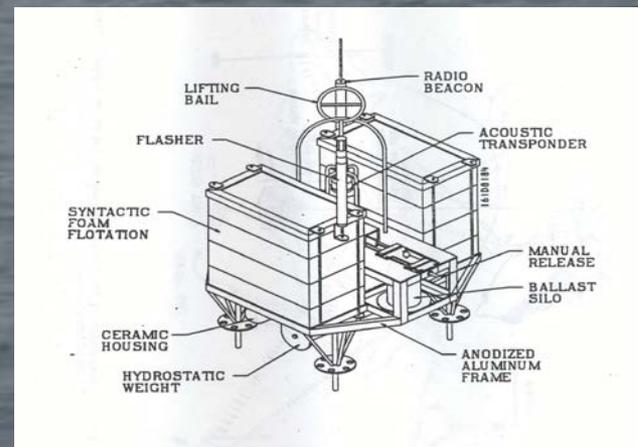
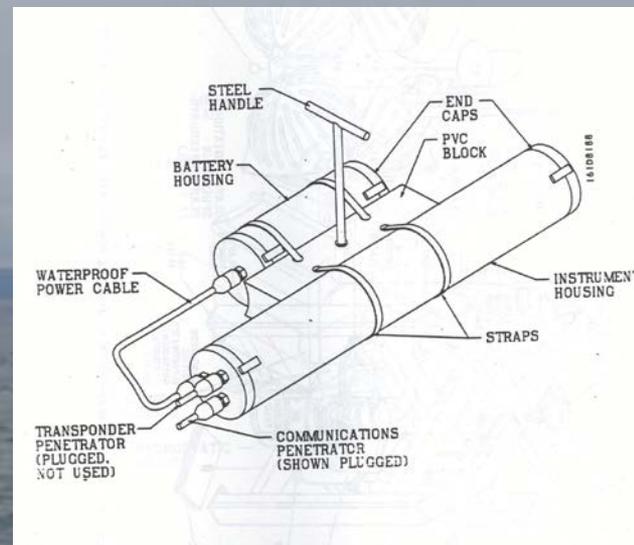
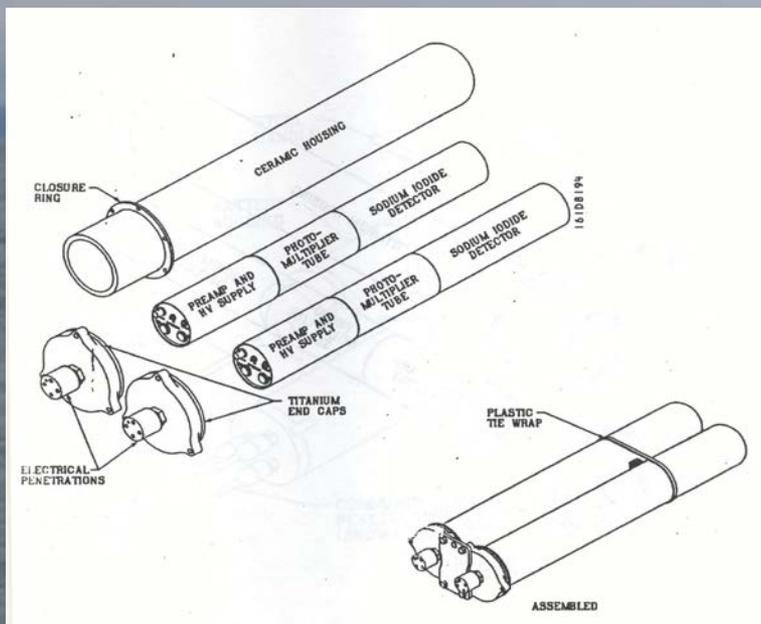
Время непрерывной работы: до 30 дней.





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»

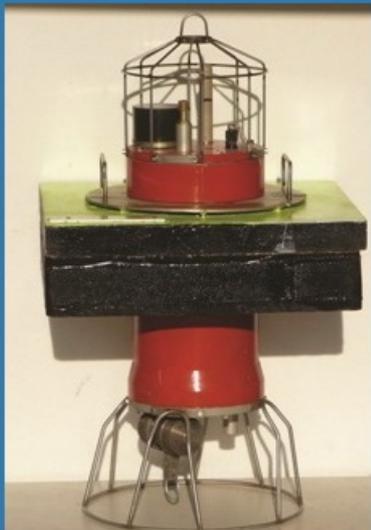


Детектор NaI(Tl) 63x250 мм





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 ⁻¹	4-6
Энергетический диапазон регистрации γ -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 ⁶ Бк/кг	1 – 1·10 ⁶ Бк/кг
40K	250 – 2·10 ⁴ Бк/кг	100 – 2·10 ⁴ Бк/кг
Диапазон измерения удельной активности радионуклидов в донных отложениях в геометрии измерения 2л стерадиан:		
134Cs, 137Cs,	50 – 1·10 ⁵ Бк/кг	20 – 1·10 ⁵ 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



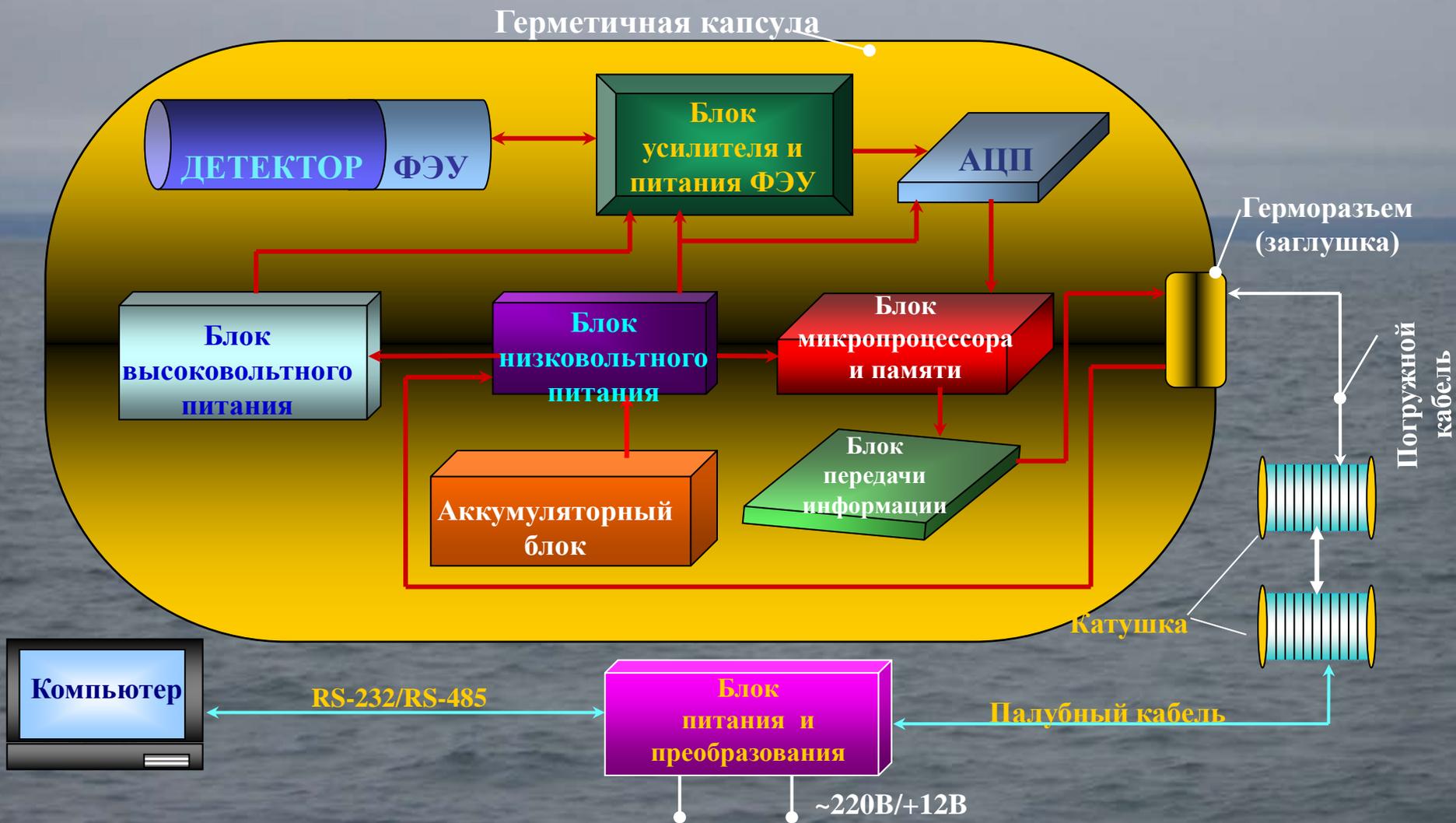
Один из вариантов гамма спектрометра
«ЭКО-10»



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}Cs – более 500 Бк/м^3 ;
- обнаружение и идентификацию точечных гамма-излучающих источников в подводных объектах на расстоянии до 30 см при их активности в эквиваленте ^{137}Cs – более 10^4 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}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



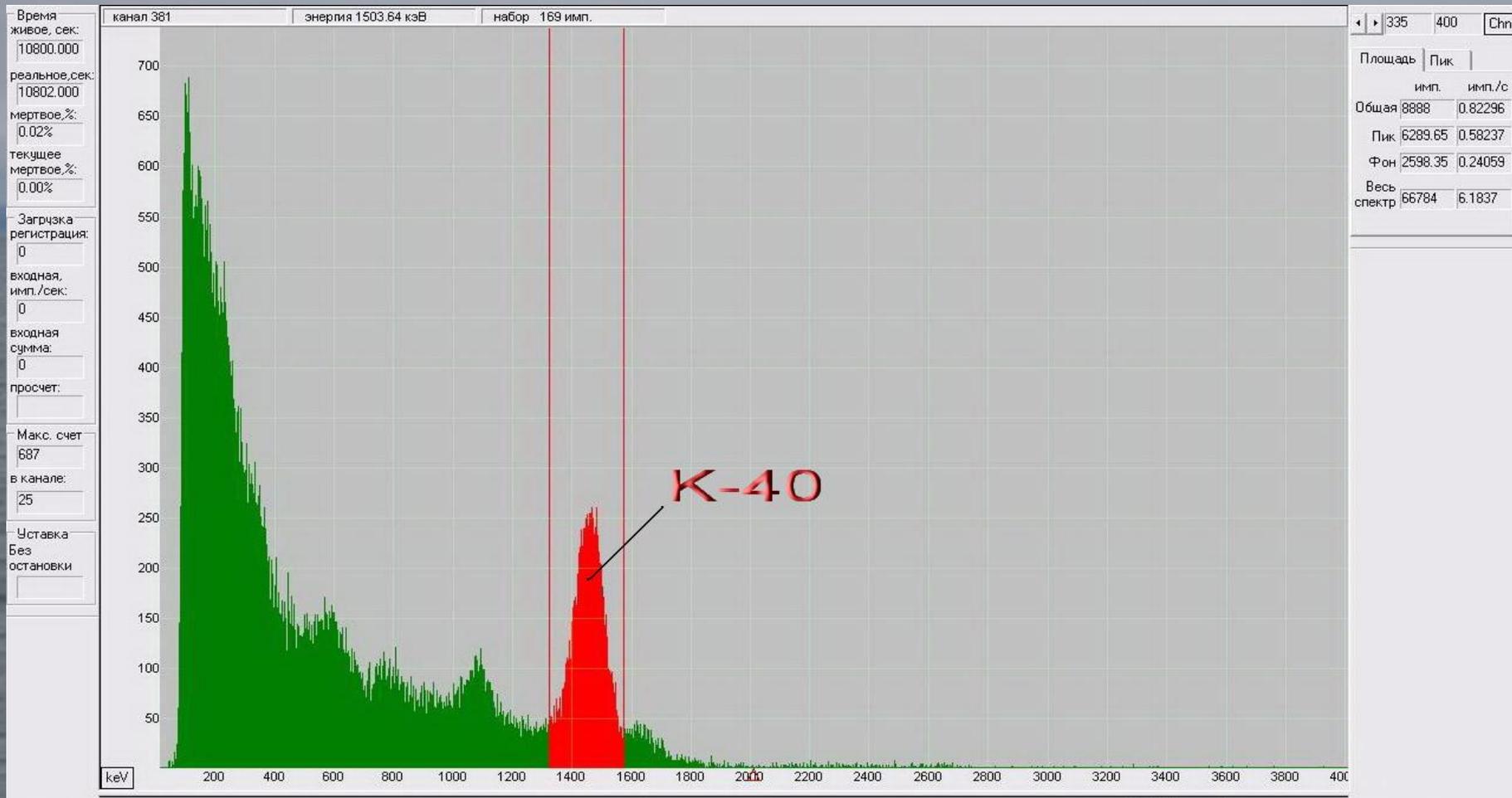
26 12 2013 г.

Серия СИ

№ **013150**

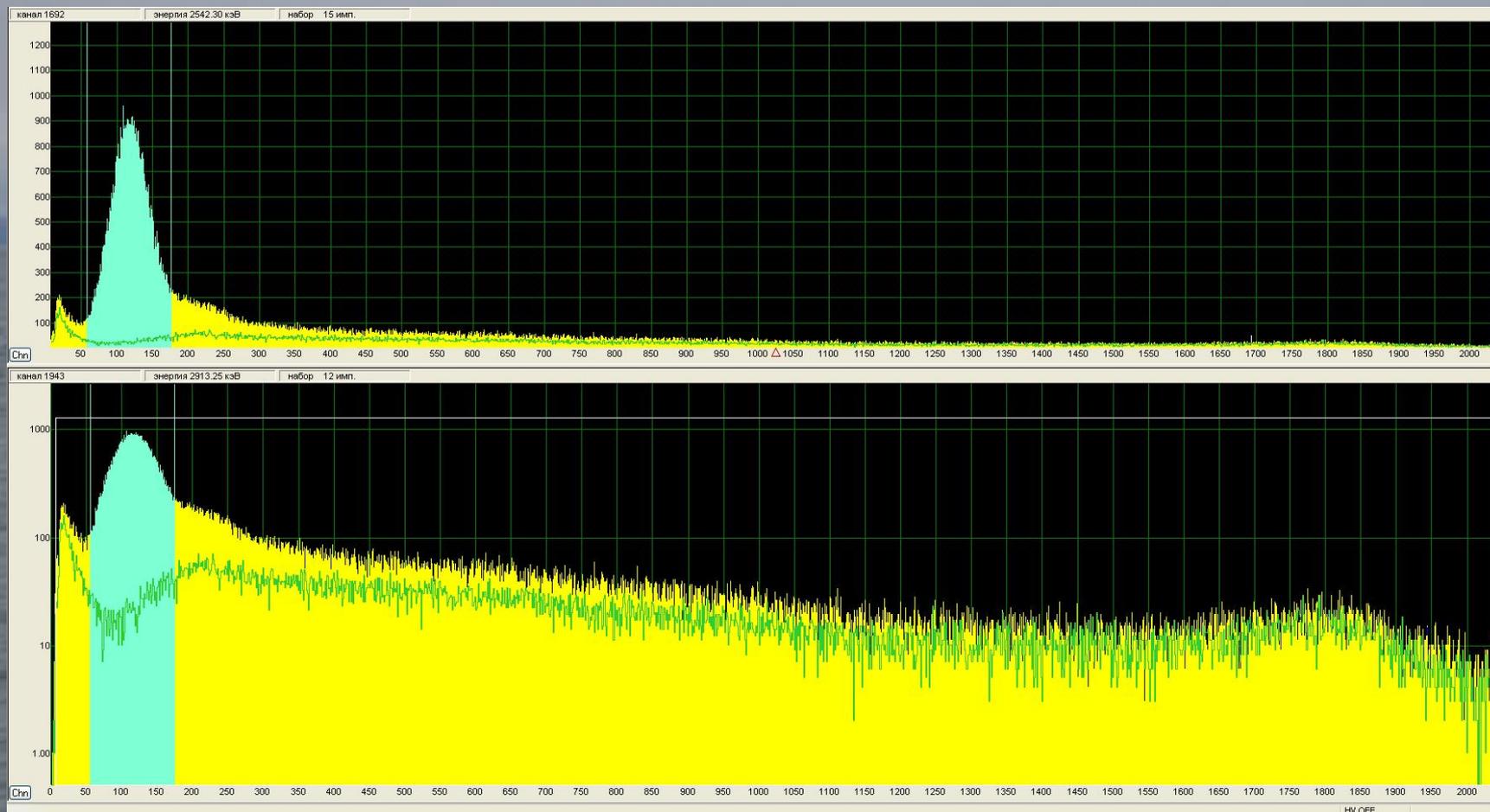


Энергетический спектр гамма-излучения в морской воде. Залив Цивольки, глубина 30 м, T = 3 часа, 2013.





Энергетический спектр гамма-излучения под водой от точечного источника (^{241}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 м³ с общей площадкой обслуживания, гидротехнические коммуникации и электроталь грузоподъемностью 500 кг;
 - Две цилиндрические емкости из нержавеющей стали объемом по 3,5 м³ с общей площадкой обслуживания, гидротехнические коммуникации и электроталь грузоподъемностью 500 кг;
 - Вспомогательная емкость объемом 0,2 м³ 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*