



РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОНУКЛИДОВ АТМОСФЕРНОГО КРИПТОНА И КСЕНОНА

С.А. Пахомов, Ю.В. Дубасов
ФГУП «НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина»

XII Международное совещание ППСР-2011

С.-Петербург, 10-14 октября 2011 г.

Введение

Радионуклиды благородных газов (РБГ) образуются в больших количествах при осуществлении любых видов ядерной деятельности, использующих реакцию деления.

Являясь химически инертными, они сравнительно легко проникают через защитные барьеры и, распространяясь с воздушными массами, несут информацию о характеристиках источника.

Разработка аппаратуры контроля за содержанием в атмосферном воздухе РБГ остается актуальной задачей, т. к. ее наличие позволяет осуществлять эффективный контроль за большинством видов ядерной деятельности.

Наибольший практический интерес представляют радионуклиды: ^{131m}Xe ($T_{1/2}=11.9$ дня), ^{133}Xe (5.24 дня), ^{133m}Xe (2.19 дня), ^{135}Xe (9.14 часа) и ^{85}Kr (10.7 года).

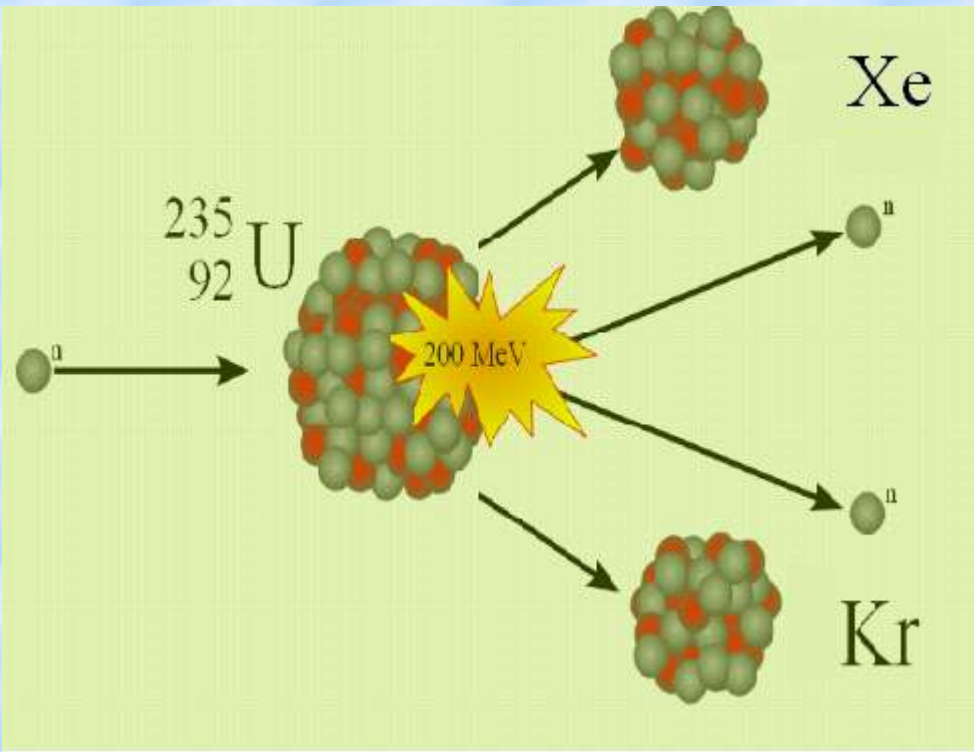
^{131m}Xe

^{133}Xe

^{133m}Xe

^{135}Xe

^{85}Kr



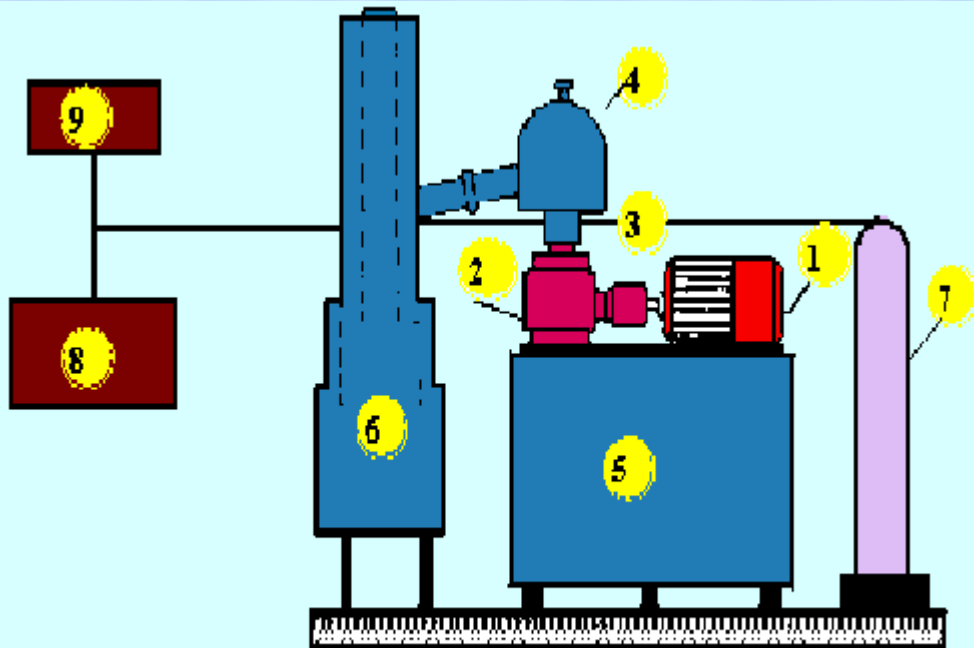
Разработки 80-х

В начале 80-х г. а Радиевом институте активно разрабатывалась аппаратура для контроля РБГ.

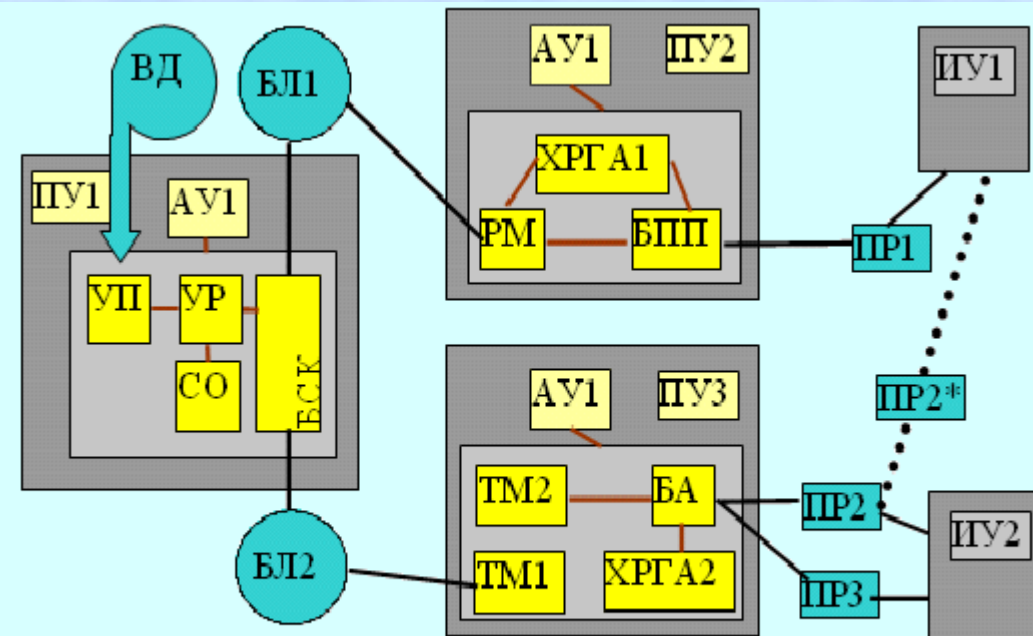
Судовой комплекс К-511

Производительность 15 - 18 м³/час. Масса комплекса — 3,3 т, мощность 41 кВт.

молекулярного трития на уровне 0.04 Бк/м³,
криптона-85 на уровне 0.2 Бк/м³ и
ксенона-133 на уровне 0.004 Бк/м³.



Пробоотборная часть на базе холодильной машины ЗИФ-1000



Функциональная схема комплекса К-511

Катастрофа на ЧАЭС

Стационарный комплекс К-510

Привязка сети пробоотбора к действующим воздухо-разделительным заводам, выпускающим криптоно-ксеноновую смесь (ККС).

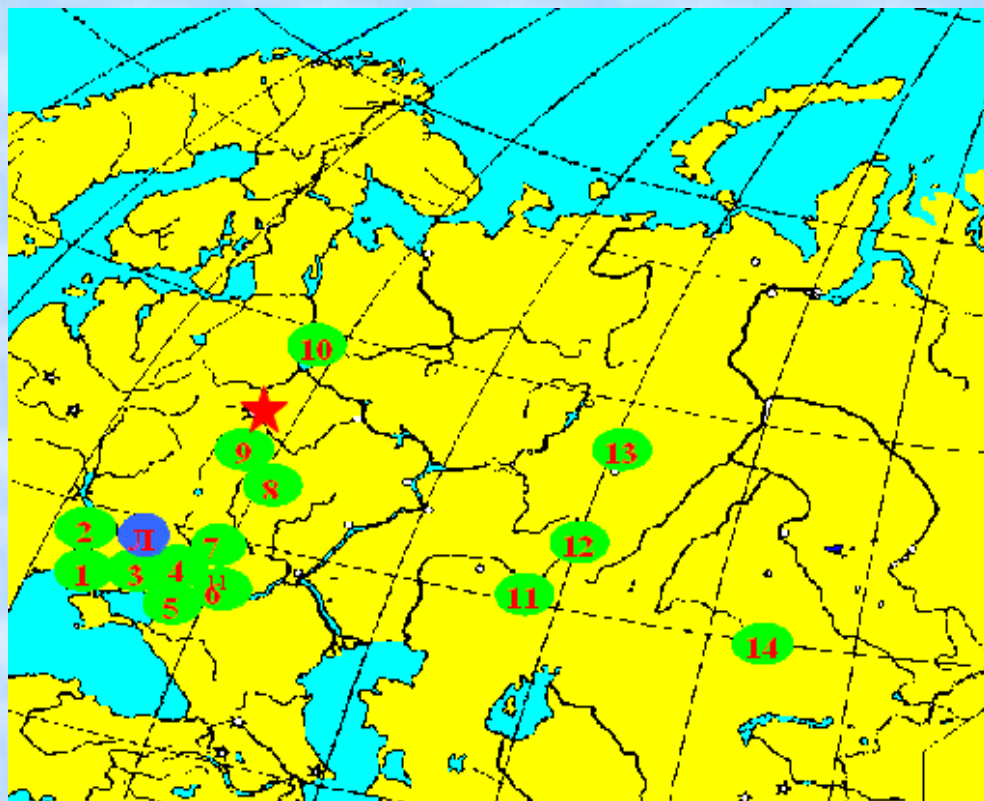
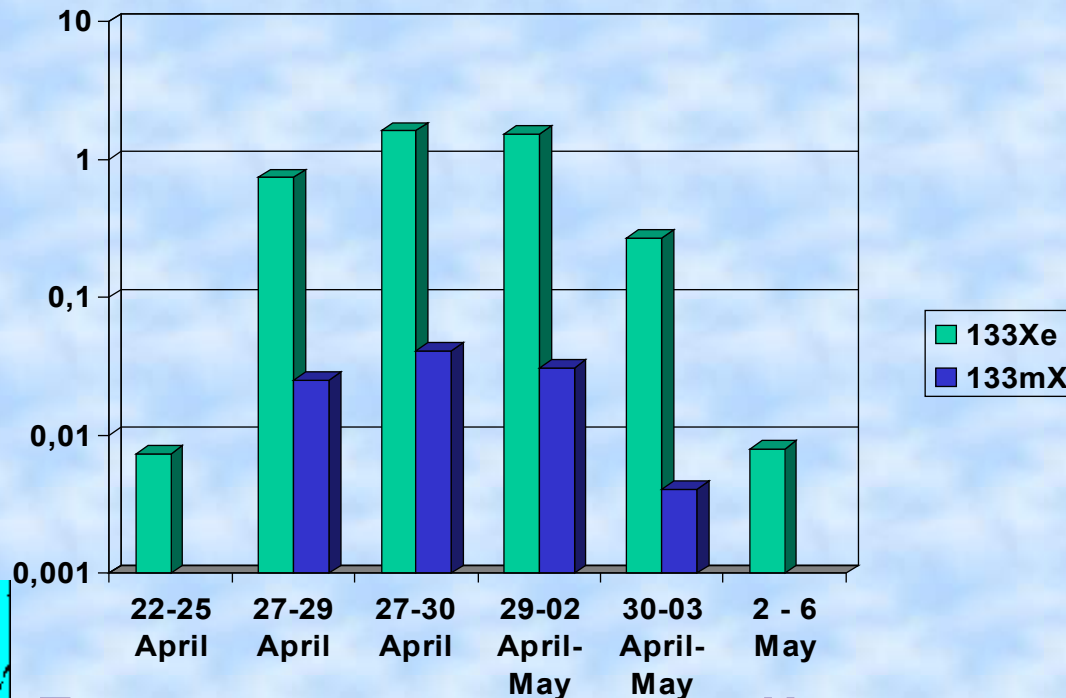
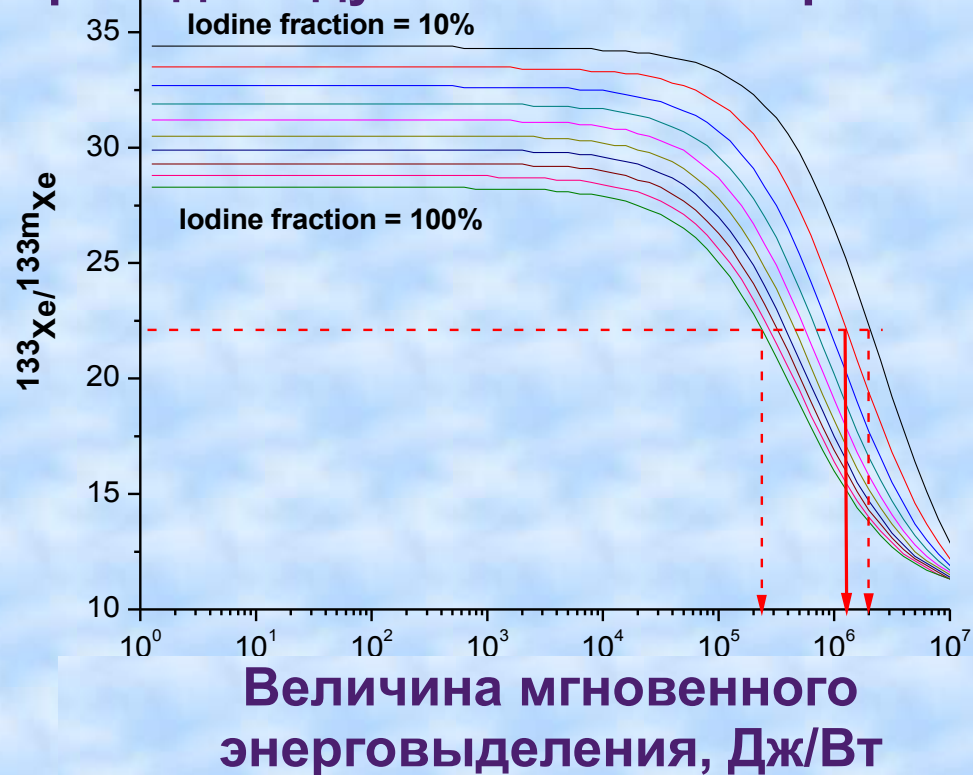


Рис.3.2. Схема расположения заводов. (Л)-Лисичанск, (1)-Кривой рог; (2)-Днепрозержинск; (3)-Северодонец; (4)-Макеевка; (5)-Марнуполь; (6)-Енакиево; (7)-Коммунарск; (8)-Липецк; (9)-Новомосковск; (10) Череповец; (11)-Орск; (12)-Челябинск; (13)-Нижний Тагил; (14)-Темиртау.

Схема расположения ВРЗ



Приход воздушных масс в Череповец



Международная система мониторинга

Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний был принят 50-й сессией Генеральной Ассамблеи ООН 10 сентября 1996 года. Договор подписало 182 государства, не подписали только «молодые» ядерные державы Индия, Пакистан, КНДР. Для контроля выполнения условий договора была учреждена СТВТО.



**В состав МСМ
входят:**

- 141**
сейсмическая;
- 43**
инфразвуковые;
- 10**
гидроакустических;
- 92**
радионуклидные
(из них 22
оснащены
аппаратурой
контроля РБГ, а
запланировано
довести до 40)

Образцы аппаратуры контроля РБГ, работающие в составе МСМ



SPALAX



ARSA



SAUNA-II



ARIX

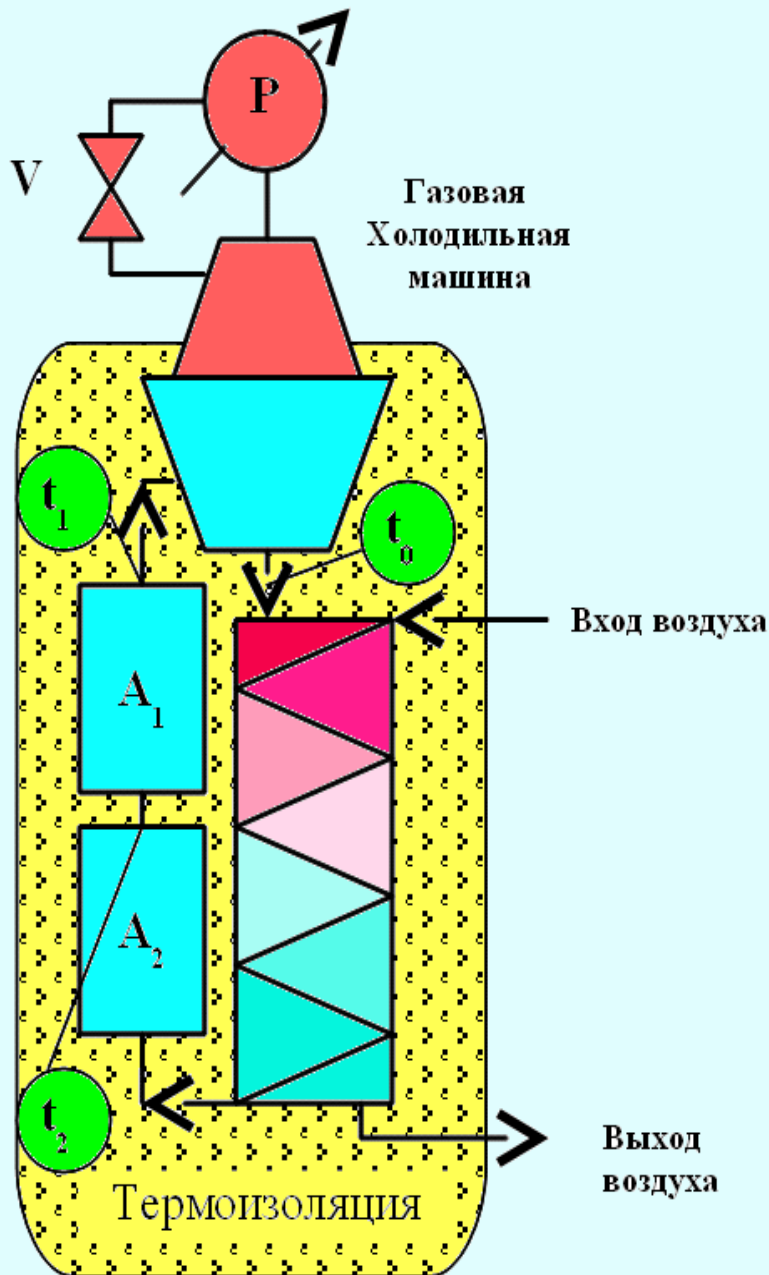
Сравнительные характеристики

Device	Pumping, m ³ /h	Sampling period, h	Processing time, h	Xe volume, cm ³	Xe removal factor, %	¹³³ Xe MDC, mBq/m ³
SPALAX	15	24	24	6	20	0,15
ARSA	6	8	4	2	50	0,3
SAUNA-II	1,4	12	6	1,2	92	0,3
ARIX	3	2	3	0,4	90	<1
ПИ NEW	25	2 - 10	1,5	до 10	65	<1

Назначение и состав нового комплекса

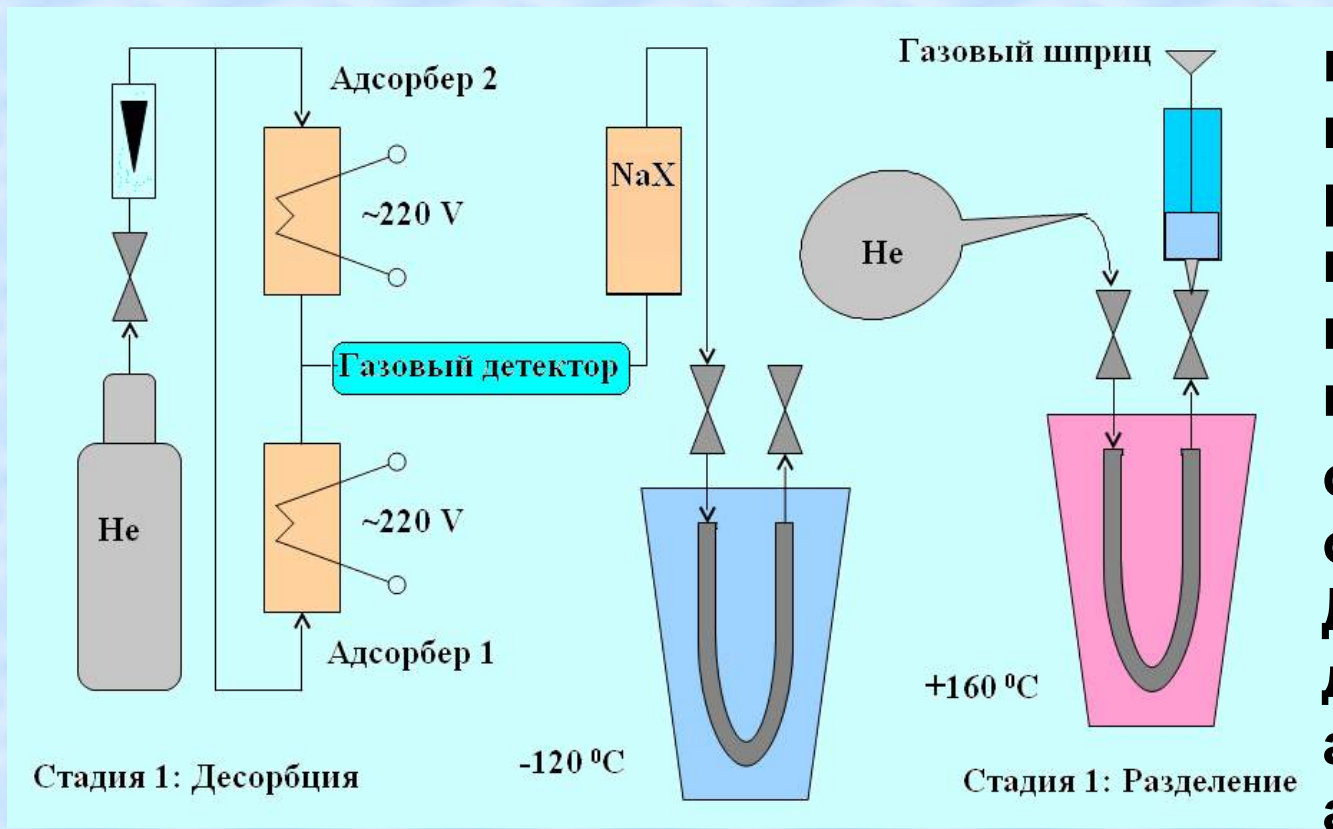
- ▶ В Радиевом институте был разработан принципиально новый комплекс аппаратуры автомобильного базирования, предназначенный для измерения содержания радионуклидов ксенона в атмосферном воздухе.
- ▶ Комплекс пригоден как для работы на территориях, расположенных в непосредственной близости от действующих АЭС (на расстояниях 2,5 – 30 км), так и для проведения фоновых измерений.
- ▶ Комплекс аппаратуры включает:
 - ▶ высокопроизводительную пробоотборную установку;
 - ▶ блок экспрессной пробоподготовки;
 - ▶ высокочувствительный спектрометр радиоактивных газов, работающий по схеме β - γ -совпадений;
 - ▶ программное обеспечение для контроля процессов пробоотбора и пробоподготовки;
 - ▶ программное обеспечение для управления спектрометром и обработки спектров.

Пробоотборная установка



Принцип действия пробоотборной установки аппаратного комплекса, принципиальная схема которой показана на рис.1, основан на использовании метода криогенной адсорбции. Источником получения низких температур служит газовая холодильная машина, рабочим телом в которой является сам охлаждаемый воздух. Охлаждение происходит до температуры -100°C . Перед подачей в установку воздух сжимается компрессором до давления 5 атм. и проходит подготовку, включающую осушку и очистку от CO_2 . Осушенный и охлажденный воздух проходит через два адсорбера A_1 и A_2 , каждый из которых содержит 1 кг активированного угля.

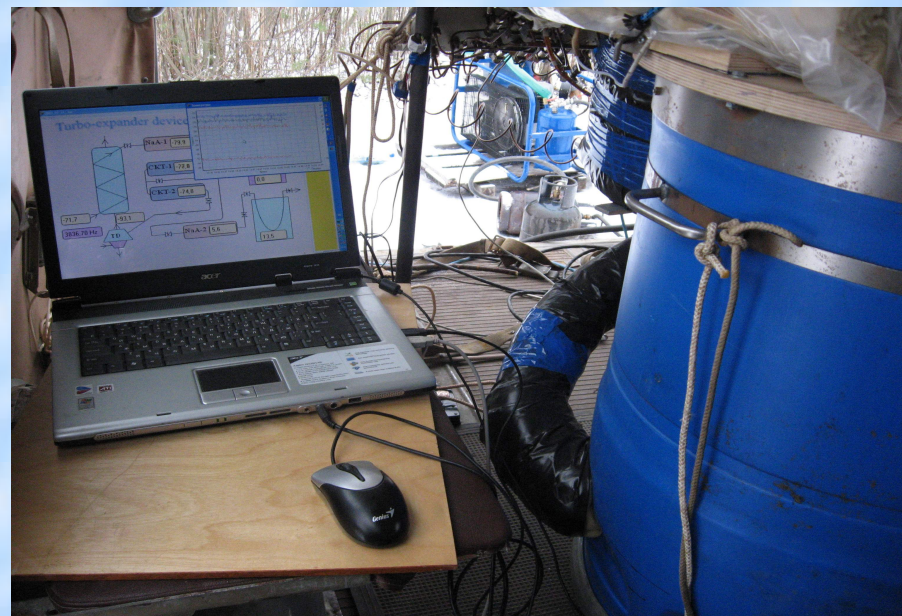
Блок экспрессной пробоподготовки



Для уменьшения времени подготовки пробы, вместо выделения отдельных фракций ксенона и криптона производится только их концентрирование до объема 500 см³ и очистка от радона. Длина колонки 0,5 м, диаметром 10 мм, адсорбент - активированный уголь

После включения режима отогрева адсорберов А1 и А2 до температуры +180 °С, десорбируемые газы с потоком газа-носителя (гелия), через цеолитовый патрон поступают в препаративную колонку, охлажденную до температуры -120 °С. По завершении процесса десорбции, препаративная колонка отогревается до температуры 150 °С, и промывается гелием.

Работа пробортборной установки в поле



Низкофоновый газовый спектрометр

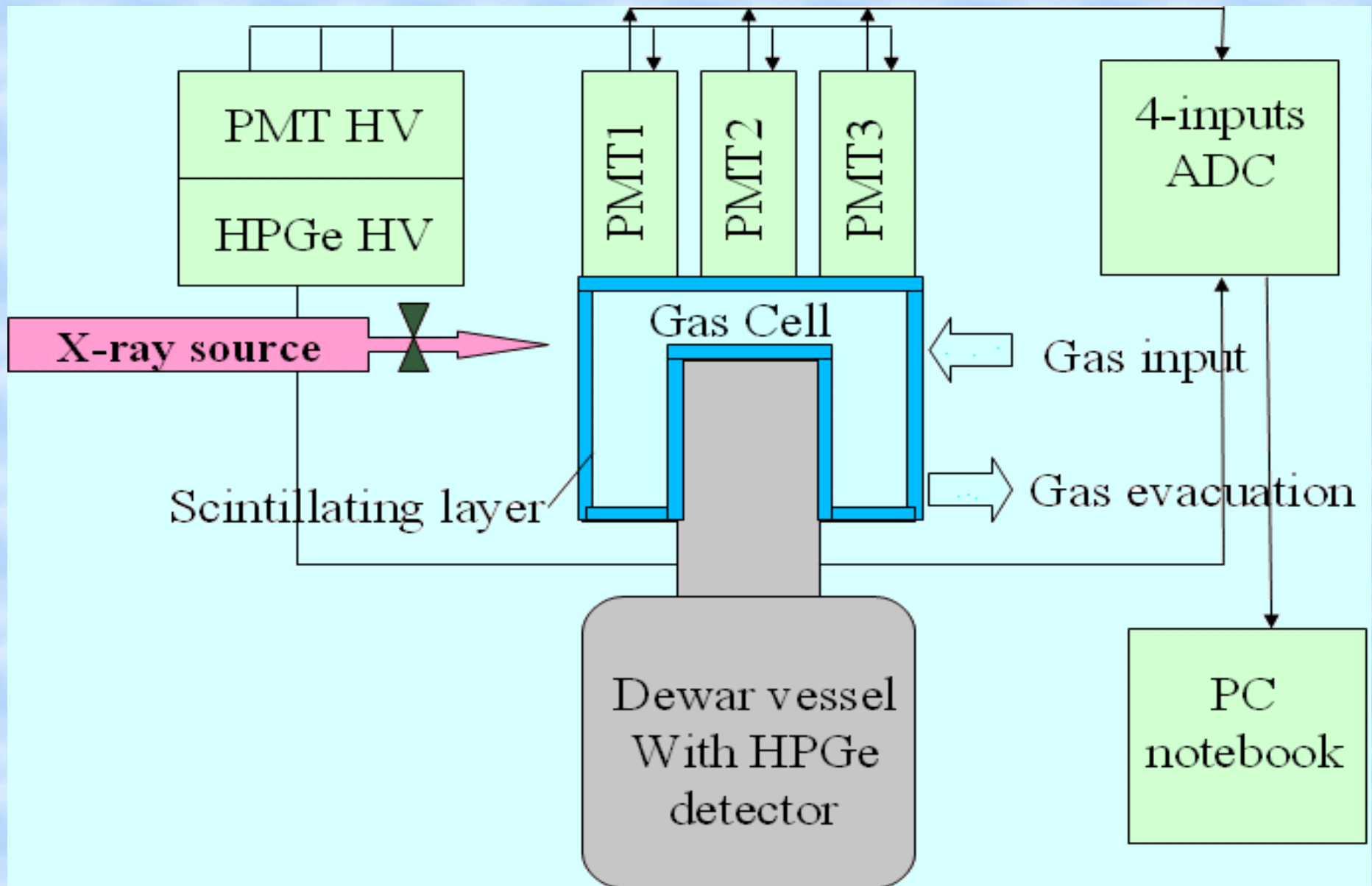
Спектрометр должен удовлетворять требованиям:

- Иметь большой объем измерительной камеры ($> 500 \text{ cm}^3$);
- Обеспечивать измерение смеси радионуклидов;
- Иметь достаточную чувствительность и малый фон;
- Удовлетворять условиям автомобильного базирования;
- Иметь короткий период развертывания.

Решение:

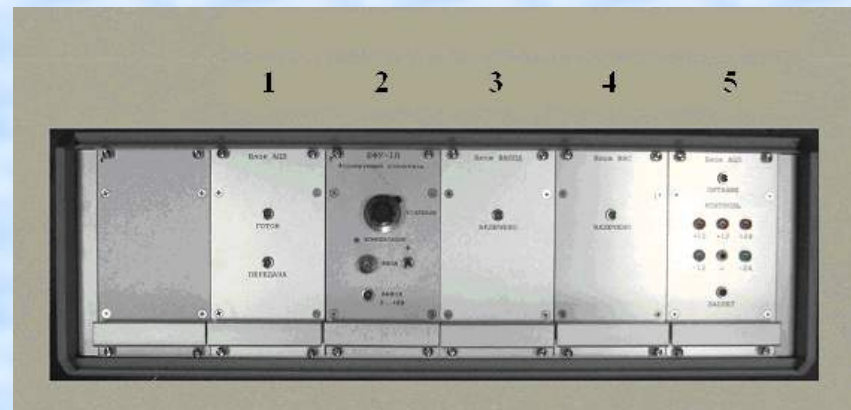
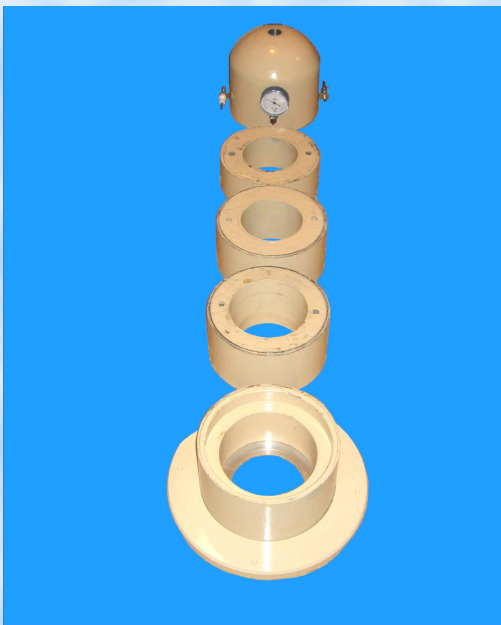
Для измерений радионуклидов криптона и ксенона, находящихся в пробе, полученной на пробоотборной установке, был разработан спектрометр β - γ -совпадений с использованием HPGe детектора "ORTEC" марки GMX20 P4-A (с рентгеновским окном) и сцинтилляционной β -камеры большого (700 cm^3) объема.

Низкофоновый газовый спектрометр



Блок-схема спектрометра

Компоненты спектрометра

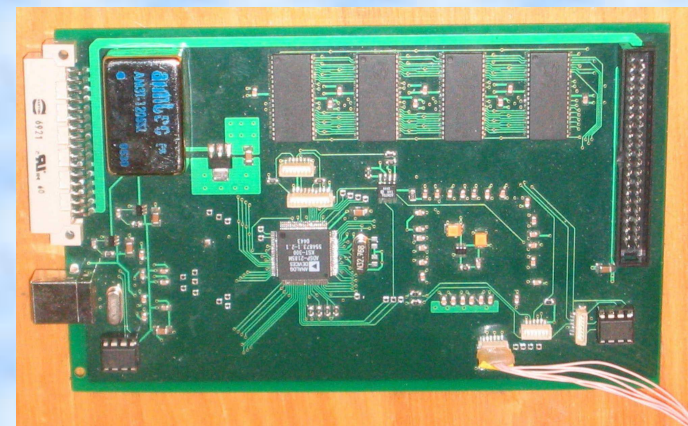
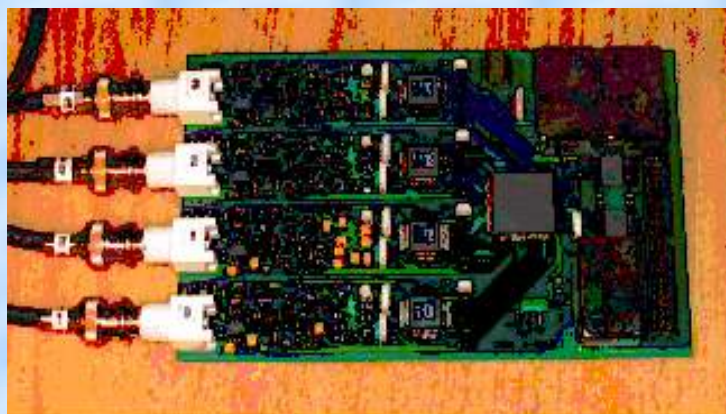


Electronic modules of spectrometer

- 1 -4 inputs multichannel ADC;**
- 2 -Spectrometric amplifier;**
- 3 - HV supply of HPGe;**
- 4 -HV supply of PMT;**
- 5 -LV converter for 12V supply.**

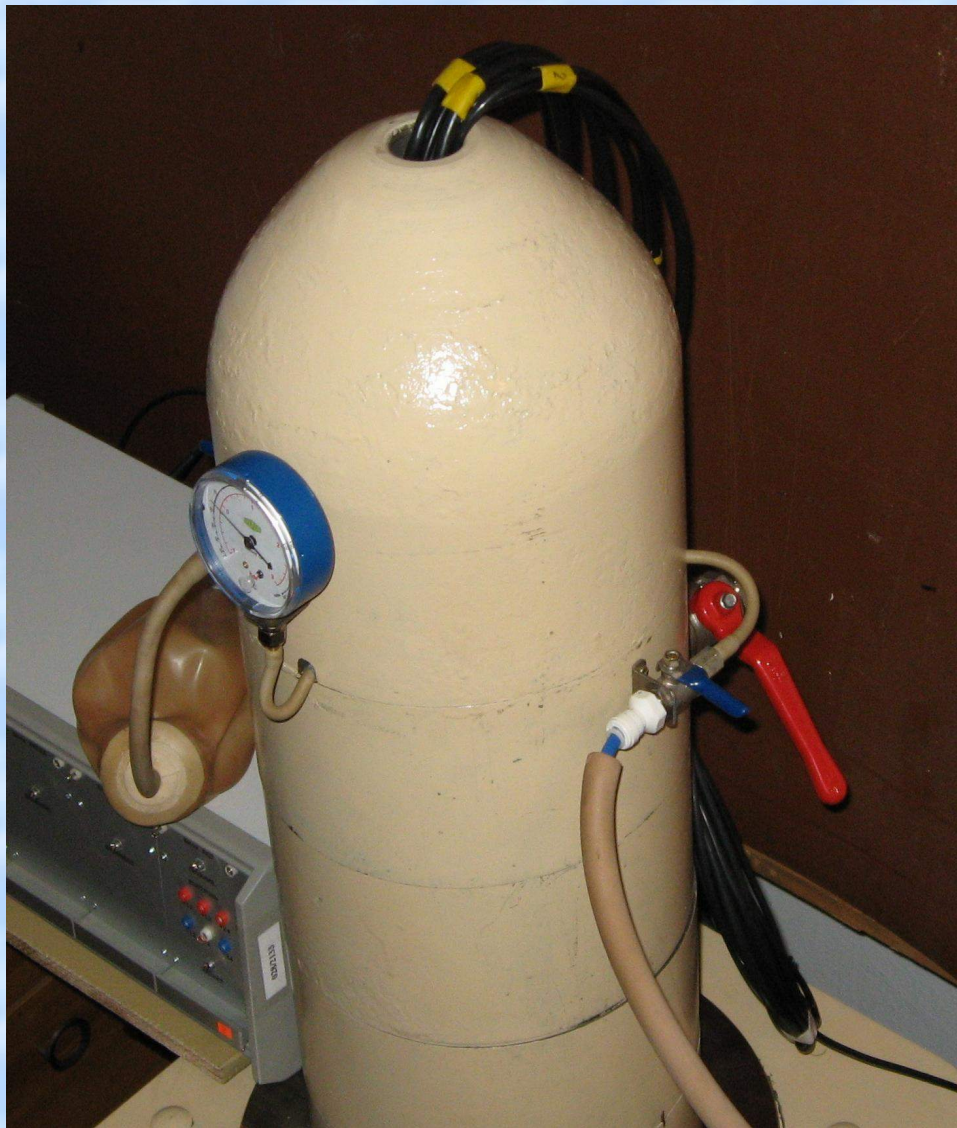
**Детали защиты β -ячейка,
установленная на
HPGe детектор**

**Developed on
the base of
ADCP2185,
PLD ALTERA
ACEX 1050,
ADUC 841**



АЦП разработан НПЦ «РАДЭК» по заказу РИ и ВНИИМ

Блок детектирования и модули ФЭУ

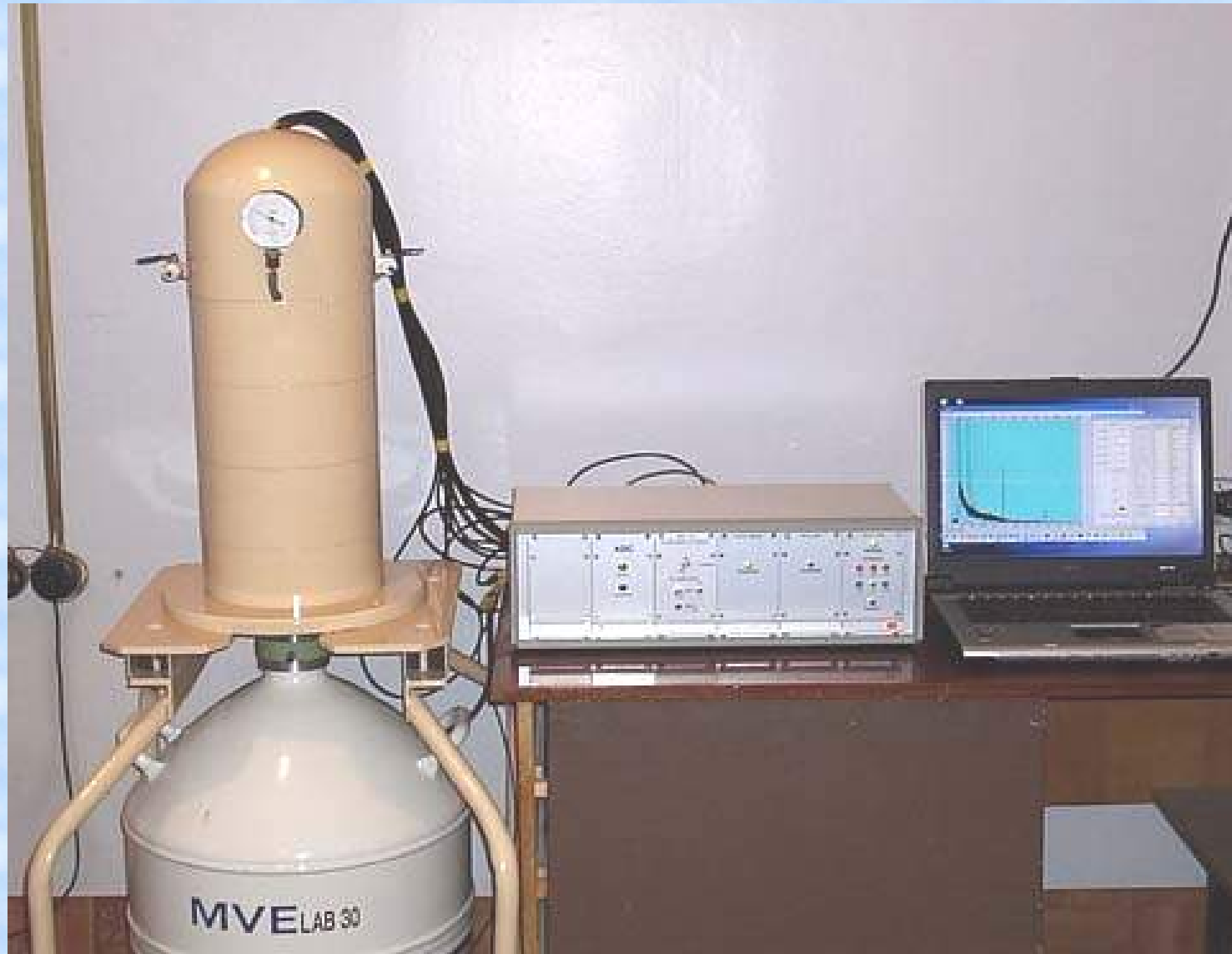


В сборе

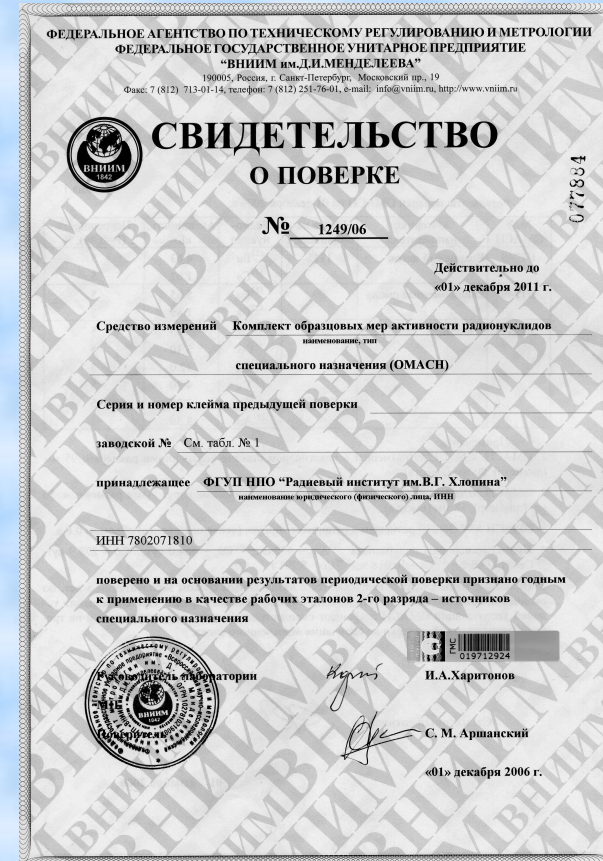


Без верхней крышки

Спектрометр в работе



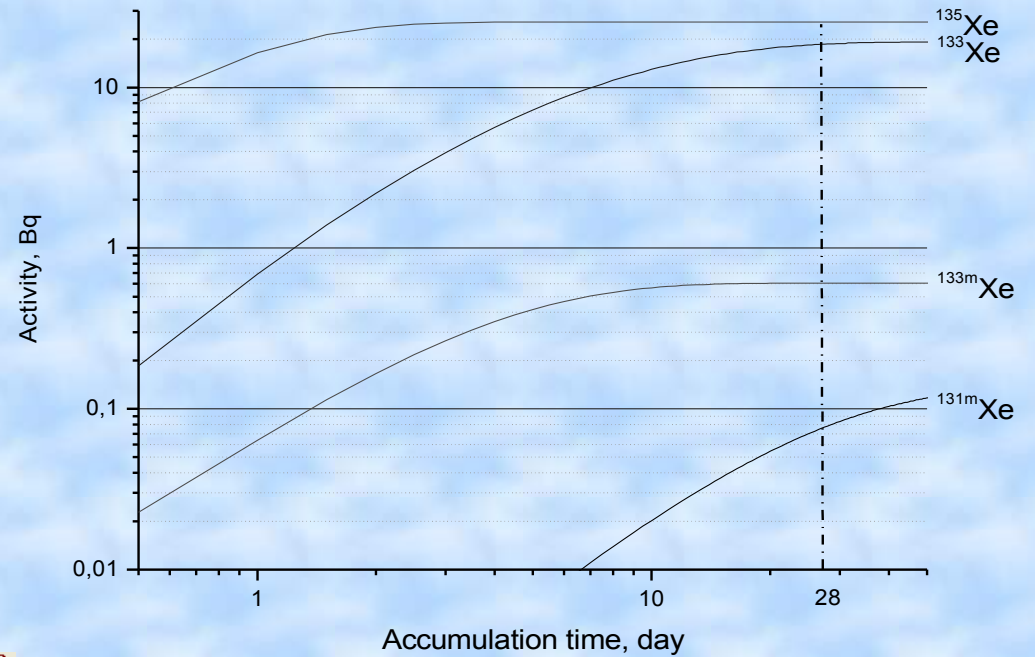
Объемный радиоактивный источник ВНИИМ



Contains radionuclides: ^{57}Co - 3.28 kBq; ^{60}Co - 3.10 kBq; ^{109}Cd - 32.0 kBq; ^{139}Ce - 4.30 kBq, ^{137}Cs - 2.02 kBq; ^{241}Am - 3.39 kBq certified accuracy 5% ($p=95$)

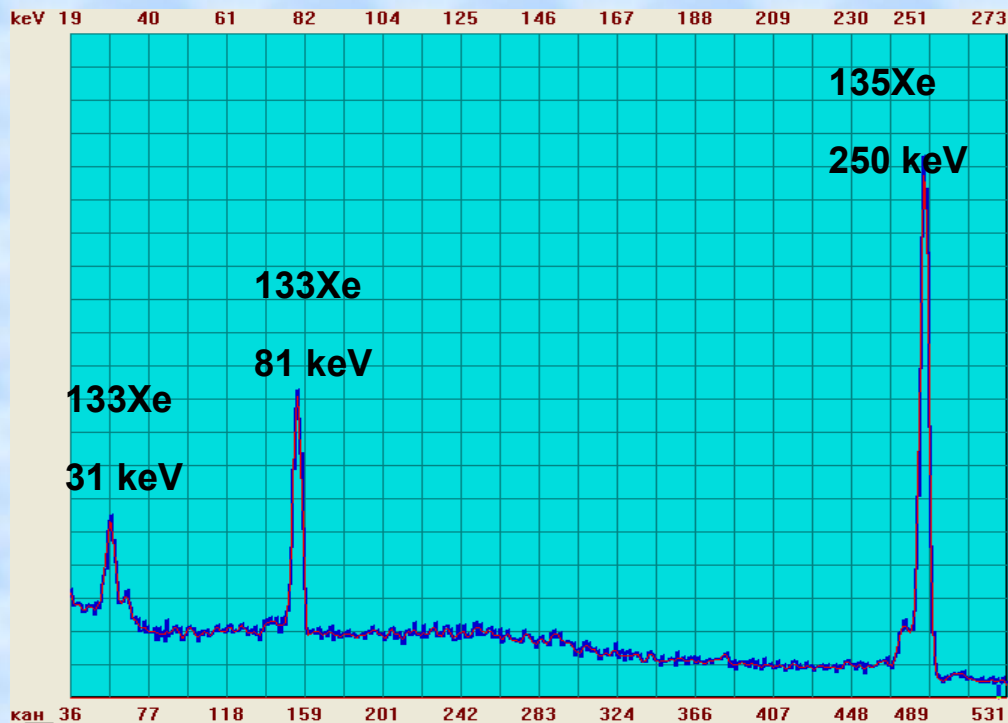
Свидетельство о
поверке

Генератор изотопов ксенона на основе ^{252}Cf

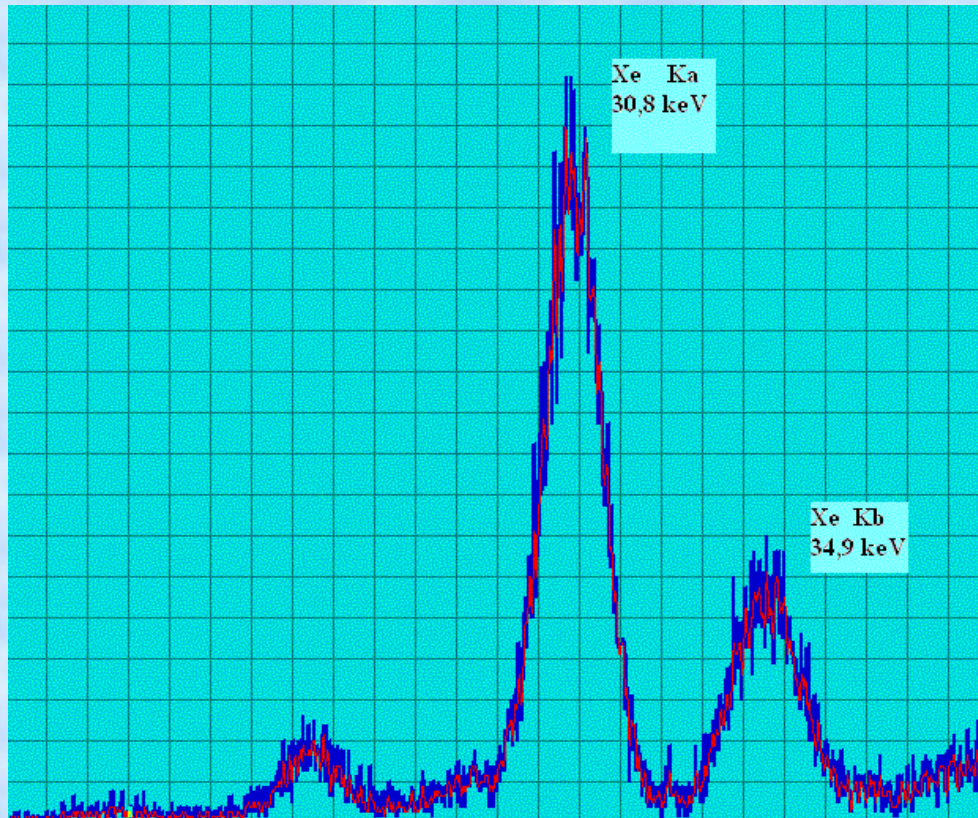


Накопление $^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$ и ^{135}Xe
для 1 нг ^{252}Cf .

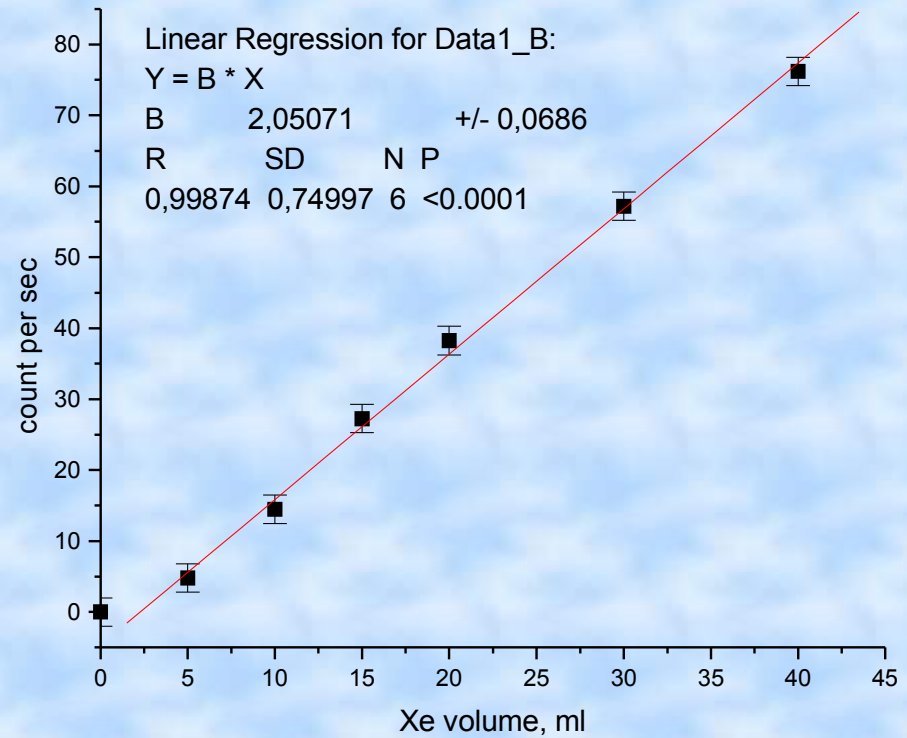
Спектр ^{133}Xe и ^{135}Xe после
недельного накопления



РФА-анализ содержания стабильного ксенона



Spectra with 4 ml of stable Xe



MDC of stable Xe 0,01% in sample

Spectra and calibration dependency of RFA method

Результаты практических измерений

Sample ^{*)}	V Xe, см ³	V of Air, м ³	Measur. time, h	133, mBq/m ³	135, mBq/m ³
SPb_06_02_08	6,2	71	18	5.3	52.0
SPb_08_02_08	6,5	75	66	1.7	<0.4
SPb_12_02_08	5,5	63	22	10.0	102.0
SB_20_02_08	5,7	66	15	1.7	9.8
SB_22_02_08	6,1	70	18	6.6	50.0
SB_23_02_08	9,6	110	18	0.4	0.3
SB_25_02_08	3,3	38	18	4.4	26.0
SB_26_02_08	5,1	59	18	7.9	53.0

^{*)}Remark. Samples with indexes SPb produced in St.Petersburg, SB – in Sosnovy Bor .

Выводы:

1) Разработанный в Радиевом институте аппаратный комплекс обеспечивает проведение измерений содержания в атмосферном воздухе радионуклидов ксенон-133 и ксенон-135 на уровне 0,3 – 0,4 мБк/м³, и ниже;

2) Использованный в установке принцип охлаждения воздуха до криогенных температур, позволил отказаться от использования внешних холодильных установок и жидкого азота;

3) Проботборная установка комплекса за один час работы обеспечивает отбор более 1 см³ ксенона из атмосферного воздуха, что в 5 - 10 раз превышает производительность известных установок;

4) Измерительная часть комплекса – спектрометр β - γ -совпадений обеспечивает чувствительность по ксенону-133 на уровне 50 мБк на пробу, что позволяет измерять объемные активности ксенона-133 в воздухе на уровнях менее 0,5 мБк/м³;

5) Впервые, для измерения химического выхода стабильного атмосферного ксенона использован метод РФА, реализованный в спектрометре β - γ -совпадений как дополнительная подсистема;

6) Имеются резервы по дальнейшему увеличению чувствительности и производительности разработанного аппаратного комплекса.