



*И.А.Харитонов
ВНИИМ им.Д.И.Менделеева,*

**Ключевые сличения национальных эталонов
единицы активности радионуклидов как фактор
обеспечения правильности измерений
активности радионуклидов, содержащейся в
промышленной продукции и объектах
окружающей среды**

Международная конференция ППСР-ХII, Санкт-Петербург 10-14 октября 2011 г

Направления деятельности, где точность измерения активности радионуклидов в объектах можно оценить в экономическом или социальном аспекте

- производство и коммерческие поставки растворов и источников радионуклидов
- коммерческие поставки металлолома, удобрений, леса, руды, щебня и др., как продукции
- проверка продуктов питания, воды и т.д. на соответствие содержания нормативам в рамках санитарных и таможенных процедур
- картирование территорий, загрязненных радионуклидами
- радионуклидная диагностика в медицине
- мониторинг территорий радиационно-опасных предприятий

Объёмы производства радионуклидной продукции в мире и России

- Объем мирового рынка радионуклидной продукции сегодня составляет 12 млрд. долларов, к 2030 году ожидается- 68 млрд.
- В настоящее время РОСАТОМ отправляет на экспорт около 70% радионуклидной продукции, что составляет примерно 5 млн.долларов Поставляемая продукция: источники медицинского назначения из кобальта-60, иридия-192, молибдена-99.гадолиния-153 и т.д., а также источники общетехнического назначения и растворы радионуклидов
- Кроме того, поставляется также свежее топливо, оружейный уран после разбавления и ввозится ОЯТ

Потребность в радионуклидной диагностике в медицине

- По статистическим данным, в США диагностические радионуклидные исследования проводятся в среднем сорока больным на одну тысячу человек в год, в Японии — 25 пациентам, в Австрии — 19 пациентам, в России — только 7 пациентам. Отставание России, в том числе и по радионуклидным методам, началось с 80-х годов (в 2-5 раз) и выросло к 2000-м годам (в 5-10 раз).
- В мировой медицинской практике используют около 190 радиодиагностических методов. В России в практической медицине используются 22 радиофармацевтических препаратов для компьютерной томографии, около 20 импортных наборов для радиоиммунного анализа и только три ультракороткоживущих радионуклида для позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ). Годовой объем реализации их лишь около 210 миллионов рублей. По экспертным данным, потребность населения России в радиофармпрепаратах удовлетворяется не более чем на 1-3%.

Радионуклидные препараты и источники ионизирующего излучения медицинского назначения

- Радионуклидные препараты(растворы) и источники ионизирующего излучения широко используются в медицинской практике для диагностики и лечения.
- В диагностике находят большое применение радиофармпрепараты для контрастных процедур, в том числе томографии, источники излучения для денситометрии и рентгеновские аппараты: дентальные, флюорографические, рентгенографические, маммографические, рентгеновские томографы.
- В лучевой терапии используются радионуклидные гамма, бета и нейтронные источники и источники на основе генерирующих устройств: терапевтических рентгеновских аппаратов и медицинских ускорителей.
- **Повышение точности радиометрических и дозиметрических измерений в медицинских процедурах является одной из важнейших задач современной метрологии ионизирующих излучений.**

Параметры назначения источников и препаратов медицинского назначения

Параметры назначения, измеряемые с нормируемой точностью при выпуске источников из производства и их применении в медицинских процедурах:

- Активность радионуклида в источнике;
- Мощность кермы в воздухе (на заданном расстоянии);
- Мощность поглощенной дозы в воде (ткани) (на заданном расстоянии)

Параметры назначения, измеряемые с нормируемой точностью при выпуске растворов из производства и их применении в медицинских процедурах:

- Удельная активность (активность) радионуклида в растворе (препарате)

В обоих случаях контролируются расчетным путем дозовые нагрузки для пациента и персонала

Нормативные требования к точности измерений в медицинской радиологии

Область измерений	Погрешность измерений, $p=0,95$		Основная погрешность СИ	
радиотерапия	5%	(1)	3%	(3)
диагностическая радиология	7%	(2)	5%	(4)
защита персонала	20%	(2)	15%	(5)

1 ICRU Report № 24,1976

2 IAEA TR №457,2007

3 ГОСТ Р МЭК 60731, 2001

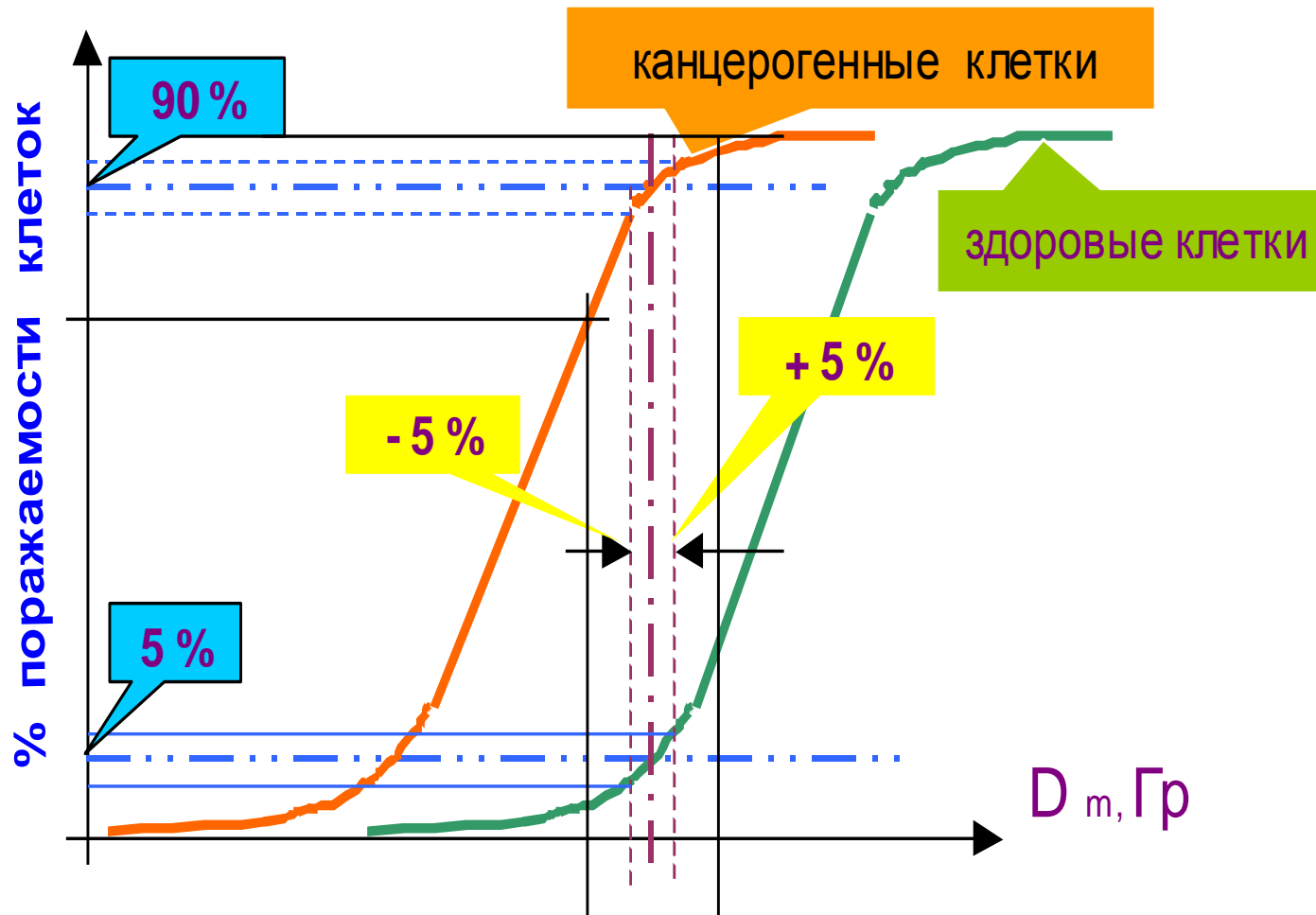
4 ГОСТ Р МЭК 61674, 2006

5 IEC 61526,2005

Требования к точности измерений в лучевой терапии

- Погрешность отпуска дозы пациенту при лучевой терапии не должна превышать 5 % при доверительной вероятности 95 % (доклад международного комитета по радиационным единицам ICRU № 24 ,1976 г.) , сейчас уже в ряде случаев предлагают поднять этот уровень вероятности до 99 %.
- Вклад собственно погрешности измерения поглощенной дозы излучения в суммарной погрешности отпуска терапевтической дозы, составляющей 5%, не должен превышать 3%.

Требования к погрешности исполнения радиационной терапевтической процедуры



Требования к достоверности (правильности) измерений

- Регламентированные в ICRU № 24 и в IAEA № 457 допустимая при доверительной вероятности 95 % погрешность контролируемых при диагностике доз облучения пациентов, так же как и погрешность отпуска дозы пациенту при лучевой терапии, по своей структуре состоят из систематической и случайной составляющих. Для обеспечения эффективности и безопасности терапевтических и диагностических процедур решающее значение имеет минимизация именно систематической составляющей погрешности. Поэтому в настоящее время существенное внимание в метрологической практике уделяется проблеме гармонизации измерительных эталонов в международном масштабе с целью обеспечения в перспективе прослеживаемости рутинных измерений в лечебных учреждениях к национальным эталонам и минимизации таким образом систематической составляющей погрешности измерений.

Договоренность МРА

- Договоренность о взаимном признании национальных метрологических эталонов и сертификатов калибровки и измерений(МРА), выдаваемых национальными метрологическими институтами, подписана директорами 50 национальных метрологических институтов 14 октября 1999 года/
- Основной целью МРА является расширение и укрепление доверия к измерениям, выполняемым в различных странах, в интересах международной торговли и обмена информацией.
- МРА опирается на усилия каждого отдельного национального метрологического института использовать в своей стране единицы СИ в качестве основы для своих измерений и для выражения неопределенности результатов этих измерений.

Критерии взаимного признания эталонов и измерительных сертификатов

- Наличие результатов ряда ключевых сличений, проводимых по четко установленным методикам, которые ведут к количественным выражениям степеней эквивалентности национальных измерительных эталонов
- Функционирование соответствующего способа обеспечения качества работ в каждом НМИ
- Успешное участие НМИ в соответствующих дополнительных сличениях

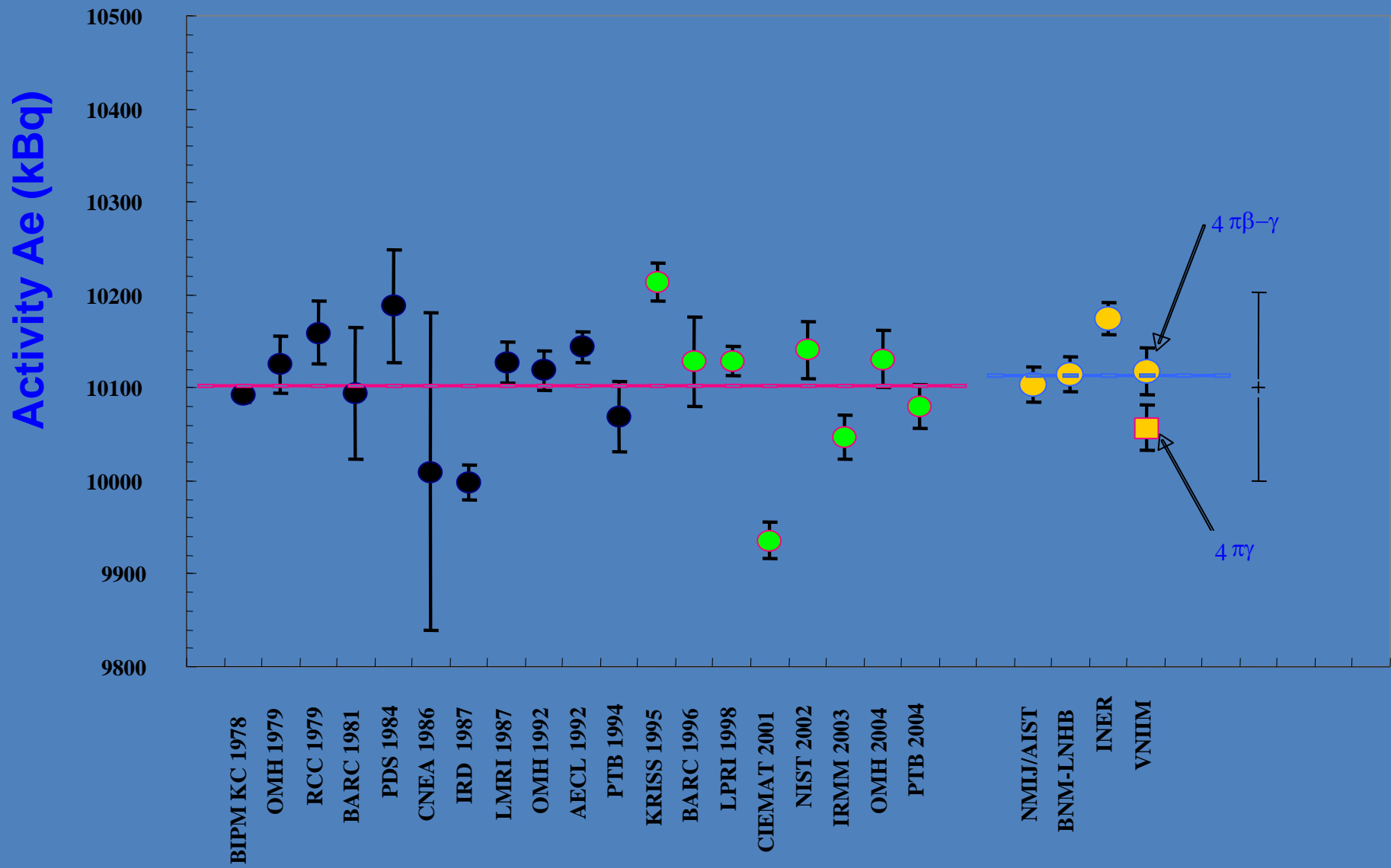
Международная конференция ППСР-ХII, Санкт-Петербург 10-14 октября 2011 г

Оценка степени эквивалентности национальных эталонов

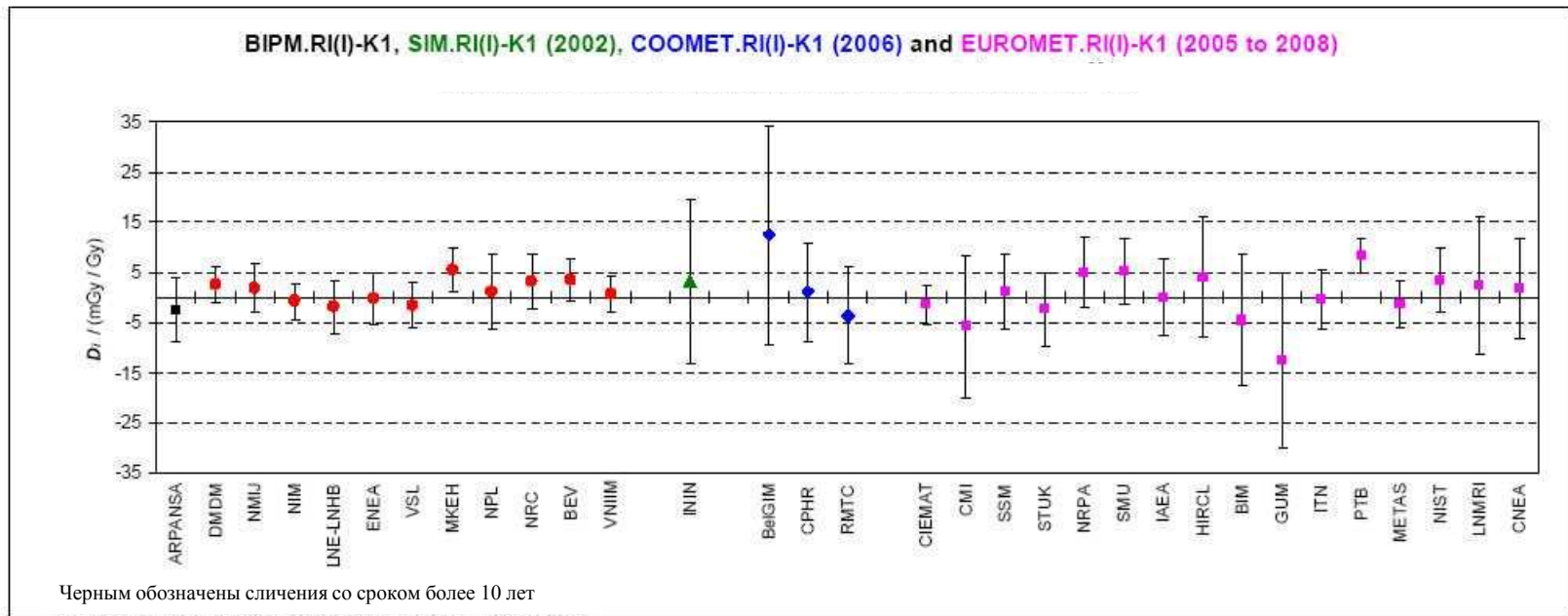
- Степень эквивалентности это степень, с которой эти эталоны согласуются с опорными значениями, определенными в ходе ключевых сличений, и, следовательно, согласуются друг с другом.
- Каждое опорное значение в большинстве случаев можно рассматривать как близкое но не обязательно лучшее приближение к значению единицы СИ
- Степень эквивалентности национального измерительного эталона выражается количественно в значениях его отклонения от опорного значения, полученного в ключевых сличениях, и неопределенности этого отклонения

**Международная конференция ПСР-ХII, Санкт-Петербург 10-14 октября
2011 г**

Результаты международных ключевых сличений по Cs-134



РЕЗУЛЬТАТЫ КЛЮЧЕВЫХ СЛИЧЕНИЙ ПО КЕРМЕ В ВОЗДУХЕ RI(I)-K1



BIPM.RI(I)-K1 - красный

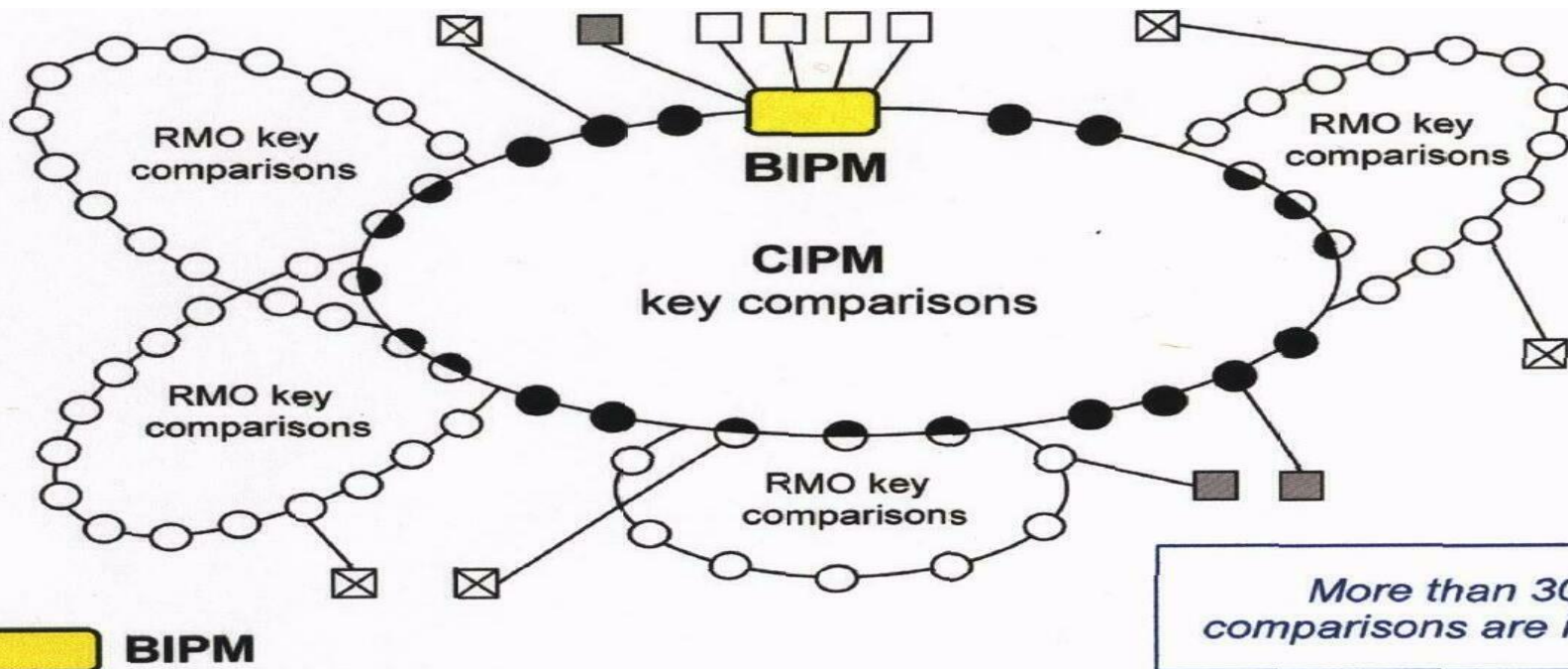
SIM.RI(I)-K1 – зеленый

COOMET.RI(I)-K1 – голубой

EUROMET.RI(I)-K1 - розовый

Цель МРА

- Установить степень национальных эталонов, поддерживаемых НМИ
- Обеспечить взаимное признание сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых НМИ
- Тем самым обеспечить правительства и другие органы надежной технической базой для заключения более широких договоренностей и соглашений в международной торговле, коммерческой деятельности, обмене технологиями, экологическом мониторинге, охране окружающей среды и медицине



BIPM

More than 300 key comparisons are in progress

- *NMI participating in CIPM key comparisons.*
- ◐ *NMI participating in CIPM key comparisons and in RMO key comparisons.*
- *NMI participating in RMO key comparisons.*
- *NMI participating in ongoing BIPM key comparisons.*
- ⊗ *NMI participating in a bilateral key comparison.*
- *International organization signatory to MRA*

Международная конференция ППСР-ХІІ, Санкт-Петербург 10-14 октября 2011 г

Статус лаборатории ВНИИМ в рамках Соглашения MRA

- ВНИИМ в рамках MRA идентифицируется как лаборатория первичных стандартов России по видам измерений активность радионуклидов, дозиметрия рентгеновского, бета и гамма излучения, измерение потока и плотности потока нейтронов
- результаты измерений ВНИИМ в ключевых сличениях Консультативного Комитета по ионизирующим излучениям (CCRI), наряду с результатами других лабораторий первичных стандартов используются CCRI для определения опорного значения ключевых сличений (KCRV)
- обязанностью ВНИИМ является распространение прослеживаемости измерений к KCRV в РФ и COOMET путем организации и проведения ключевых сличений в COOMET по закрепленным видам измерений

Ключевые сличения в области измерения активности радионуклидов

- *В области измерения активности радионуклидов для ключевых сличений была выбрана только одна физическая величина- удельная активность радионуклида в растворе*
- *Проводятся ключевые сличения двух типов :*
- *CCRI-K22 – многосторонние, при которых ампулы с раствором радионуклида рассылаются из ВІРМ или лаборатории – пиота сличений всем участникам сличений одновременно;*
- *ВІРМ.RI-K21 – индивидуальные сличения национальных метрологических лабораторий (NMI) с лабораторией ВІРМ (система SIR)*

Объединение радионуклидов в группы для ключевых сличений

- Рабочая группа ССRI по ключевым сличениям в области измерений активности радионуклидов идентифицировала около 90 радионуклидов, по которым в принципе следовало бы провести ключевые сличения. Поскольку установлен срок легитимности выполненных сличений-10 лет, то с учетом количества радионуклидов стало ясно, что это работа для нескольких поколений.
- В связи с этим, с общего согласия участников сличений все радионуклиды были объединены в группы, при этом при формировании групп учитывался метод измерения, сложность схемы распада, возможность технологического получения беспримесного нуклида и т.д.
- Было принято, что успешное участие в сличениях по самому технически сложному нуклиду в группе позволяет участнику подтвердить свои возможности по остальным нуклидам в группе

Выбор радионуклидов для сличений

- Планированием ключевых сличений занимается рабочая группа по ключевым сличениям KCWG CCRI, но решение о проведении сличений принимается с одобрения всех членов CCRI на соответствующем заседании с учетом следующих приоритетов и востребованности
- принадлежность к группе широко измеряемых на практике техногенных радионуклидов, например, цезий-137
- нуклиды, используемые в качестве реперных при калибровке аппаратуры, например, кобальт-57
- нуклиды, применяемые в составе фармпрепаратов, например, технеций-99
- нуклиды трансуранового и трансплутониевого цикла, важные для мониторинга

Участие ВНИИМ в многосторонних сличениях в области радиоактивности

Тип	Нуклид	Год проведения	Участники
CCRI-K22. Cs-134	¹³⁴ Cs	1978	Австралия, Австрия, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Индия, Канада, Китай, МАГАТЭ, Польша, Россия , США, Франция, Чехия, ЮАР, Япония
CCRI-K22. Ba-133	¹³³ Ba	1984	Австралия, Австрия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Канада, Корея, Россия , США, Франция, Чехия, Швейцария, ЮАР, Япония
CCRI-K22. Cd-109	¹⁰⁹ Cd	1986	Бельгия, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Канада, Китай, Корея, Польша, Россия , США, Франция, Чехия, ЮАР, Япония
CCRI-K22. I-125	¹²⁵ I	1988	Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Италия, Канада, Китай, Корея, Польша, Россия , США, Франция, Чехия, ЮАР, Япония
CCRI-K22. Se-75	⁷⁵ Se	1993	Аргентина, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Дания, Индия, Канада, Китай, Корея, Польша, Россия , Румыния, США, Франция, Чехия, ЮАР, Япония
CCRI-K22. Ir-192	¹⁹² Ir	1996	Бельгия, Великобритания, Венгрия, Корея, Россия , Франция, Чехия, Швейцария, Япония
CCRI-K22. Tl-204	²⁰⁴ Tl	1997	Бельгия, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Испания, Италия, Китай, Корея, МБМВ, Польша, Россия , Румыния, США, Франция, Швейцария, ЮАР, Япония
CCRI-K22. Eu-152	¹⁵² Eu	1999	Бельгия, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Испания, Россия , Румыния, США, Франция, Швейцария, ЮАР, Япония
CCRI-K22. Sr-89	⁸⁹ Sr	2000	Бельгия, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Испания, Италия, Китай, Корея, МБМВ, Польша, Россия , Румыния, США, Франция, Швейцария, ЮАР, Япония
CCRI-K22. Pu-238	²³⁸ Pu	2001	Бельгия, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Испания, Италия, Китай, Корея, МБМВ, Польша, Россия , Румыния, США, Франция, Швейцария, ЮАР, Япония

Международная конференция ППСР-ХII, Санкт-Петербург 10-14 октября 2011 г

Участие ВНИИМ в многосторонних сличениях в области радиоактивности.(current status)

Тип	Нуклид	Год проведения	Состояние сличений
CCRI-K22. Pu-238	^{238}Pu	2001	Бельгия, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Испания, Италия, Китай, Корея, МБМВ, Польша, Россия , Румыния, США, Франция, Швейцария, ЮАР, Япони
CCRI-K22. Zn-65	^{65}Zn	2003	Сличения закончены, обработка результатов измерений
CCRI-K22. Mn-54	^{54}Mn	2003	Сличения закончены, обработка результатов измерений
CCRI-K22. Am-241	^{241}Am	2004	Сличения закончены, обработка результатов измерений
CCRI-K22.J-125	^{125}J	2004	Сличения закончены, обработка результатов измерений

Международная конференция ППСР-ХII, Санкт-Петербург 10-14 октября 2011 г

Участие ВНИИМ в ключевых сличениях в системе SIR

Тип	Нуклид	Год начала	Участники и год участия
ВИРМ. RI-K21. Co-57	⁵⁷ Co	1976	Великобритания-76, Австралия-78, Германия-83, Дания-85, США-85, Бразилия-91, Россия-92 , Чехия-91, Корея-92, Франция-95, Венгрия-96, Япония-96, Швейцария-96, Корея-99
ВИРМ. RI-K21. Y-88	⁸⁸ Y	1976	Япония-76, Великобритания-77, Канада-77, Швейцария-79, США-80, Чехия-86, Германия-88, Россия-93 , Венгрия-93, Франция-94, Бразилия-99
ВИРМ. RI-K21. Ba-133	¹³³ Ba	1977	Австралия-78, Франция-79, Чехия-80, МБМВ-80, Германия-81, Великобритания-82, Россия-84 , слич.-83, Япония-86, Корея-91, 95, Бразилия-95, Венгрия-96, Аргентина-96, США-98
ВИРМ. RI-K21. Eu-152	¹⁵² Eu	1981	США-82, Чехия-86, Германия-89, Венгрия-92, Швейцария-93, Франция-94, Бразилия-95, Польша-98, Россия-98
ВИРМ. RI-K21. Bi-207	²⁰⁷ Bi	1982	Германия-82, Россия-91
ВИРМ. RI-K21. Sb-124	¹²⁴ Sb	1992	Венгрия-92, Франция-95, Россия-98

Участие ВНИИМ в ключевых сличениях в системе SIR (current status)

Тип	Нуклид	Год начала	Состояние сличений
VIPM. RI-K21. Cr-51	⁵¹ Cr	2004	Россия-04, Япония-04, Тайвань-04
VIPM. RI-K21. Ce-139	¹³⁹ Ce	2005	Россия-05, Япония-05, Китай-05, Тайвань-05, Южная Корея-05, Индонезия-05, Таиланд-05, Южная Африка-05, Индия-05
VIPM. RI-K21. Cs-134	¹³⁴ Cs	2005	Россия, Япония, Франция
VIPM. RI-K21. Am-241	²⁴¹ Am	2006	Россия-06,
VIPM. RI-K21. Cs-137	¹³⁷ Cs	2007	Россия-08,
VIPM. RI-K21. Eu-152	¹⁵² Eu	2008	Россия-09,
VIPM. RI-K21. Co-60	⁶⁰ Co	2011	Россия-11

Результаты участия лаборатории первичных стандартов ВНИИМ в области измерений активности радионуклидов в выполнении МРА

- В настоящее время ВНИИМ имеет 15 выполненных многосторонних сличений и 13 сличений в системе SIR, зарегистрированных в базе данных ключевых сличений VIPM. Большинство сличений ВНИИМ, выполненных в системе SIR, было обусловлено необходимостью подтвердить эквивалентность национального эталона России для радионуклидов, применяемых для решения практических задач. Так, например, радионуклиды кобальт-57, барий-133 используются для калибровки дозаторов в медицине, америций-241, европий-152 и иттрий-88 – применяются для градуировки полупроводниковых спектрометров, америций-241 и цезий-137 – для измерений проб из техногенных сред и т.д.

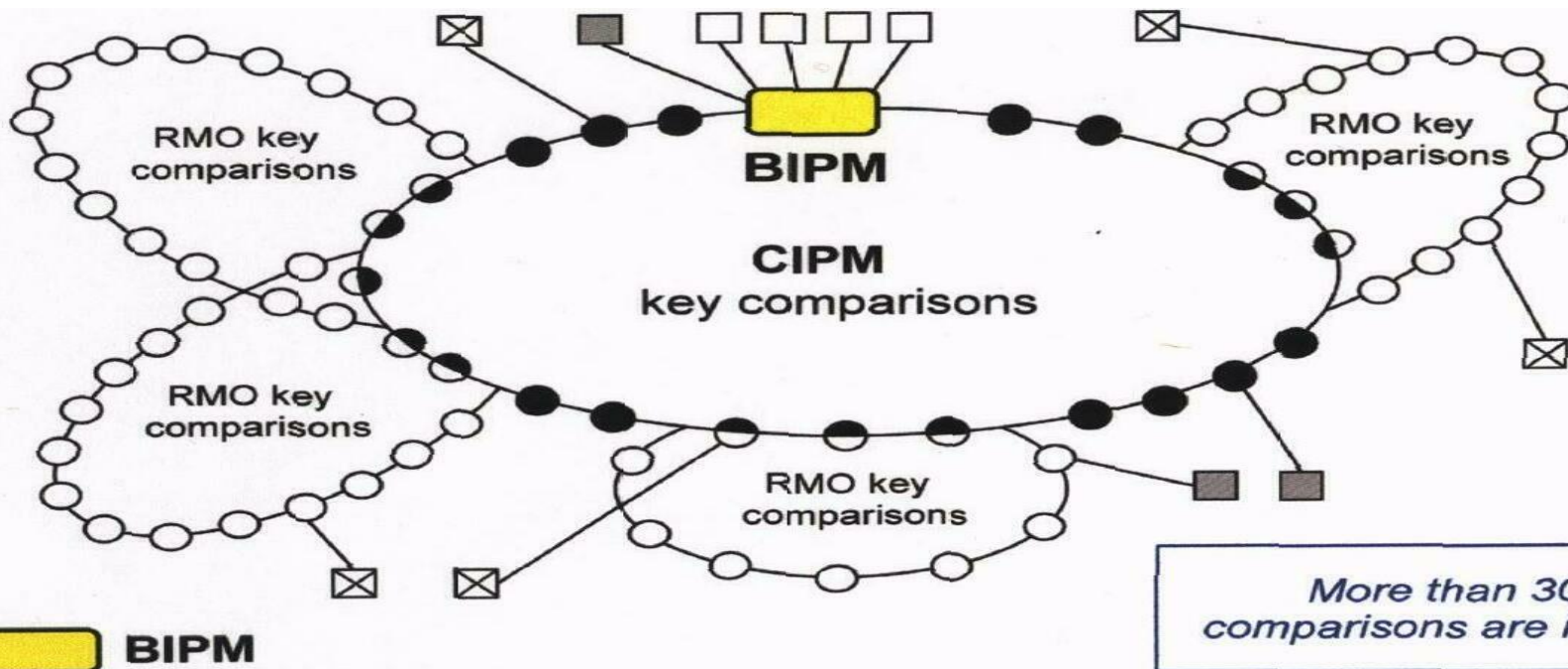
Характеристика точности национального эталона единицы активности радионуклидов РФ по результатам ключевых сличений

- По результатам участия ВНИИМ в ключевых сличениях национальных эталонов единицы активности радионуклидов было установлено, что первичный эталон РФ единицы активности радионуклидов эквивалентен по точности национальным эталонам Германии, Японии, США, Англии и других развитых стран.
- Отклонение результатов измерений активности радионуклидов от опорного значения ключевых сличений для национального эталона РФ не превышает оцененного значения неопределенности результатов измерений.
- Погрешность измерений активности радионуклидов на уровне национального эталона зависит от типа радионуклида и составляет от 0,25% до 1,5% для доверительной вероятности 0,95.

Международная конференция ППСР-ХII, Санкт-Петербург 10-14 октября 2011 г


Измерительные и калибровочные возможности (СМС) ВНИИМ в области ИИИ, зарегистрированные на сайте ВІРМ

- Всего по результатам сличений и международной экспертизы на сайте ВІРМ зарегистрировано 295 строк измерительных и калибровочных возможностей ВНИИМ, из них собственно в области активности радионуклидов-124 строки, дозиметрии-133 строки, нейтронных измерений-38 строк
- Каждая строка представляет собой услугу в виде выполнения измерения или калибровки, которая может быть реализована ВНИИМ для потребителя с той погрешностью, которая указана в строке и подтверждена реально либо участием ВНИИМ в соответствующих ключевых сличениях, либо соответствующим заключением межрегиональной экспертизы



 **BIPM**

More than 300 key comparisons are in progress

-  *NMI participating in CIPM key comparisons.*
-  *NMI participating in CIPM key comparisons and in RMO key comparisons.*
-  *NMI participating in RMO key comparisons.*
-  *NMI participating in ongoing BIPM key comparisons.*
-  *NMI participating in a bilateral key comparison.*
-  *International organization signatory to MRA*

Международная конференция ППСР-ХІІ, Санкт-Петербург 10-14 октября 2011 г

Организация ВНИИМ сличений КООМЕТ для распространения прослеживаемости к опорному значению ключевых сличений

Тип сличений	Лаборатория-пилот	Лаборатории-участники	год
Ключевые сличения национальных эталонов единицы активности радионуклидов по америцию-241	ВНИИМ	Куба Белоруссия Словакия	2006 г.
Ключевые сличения национальных эталонов единицы активности радионуклидов по цезию-137	ВНИИМ	Куба Белоруссия Словакия	2007 г.
Ключевые сличения национальных эталонов единицы активности радионуклидов по европию-152	ВНИИМ	Куба Белоруссия Словакия	2008 г.

Метрологическое обеспечение ВНИИМ сличений отраслевых лабораторий как инструмент распространения прослеживаемости к опорному значению ключевых сличений

Тип сличений	Лаборатория-пилот	Лаборатории-участники	год
Отраслевые сличения испытательных лабораторий РОСАТОМА	Радиевый институт	Испытательные лаборатории РОСАТОМА и др. ведомств	2007 г. 2008 г 2009 г
Отраслевые сличения лабораторий СИЧ РОСАТОМА	ООО РАДИКО	лаборатории СИЧ 7 АЭС	2009 г.
Двусторонние сличения отраслевых лабораторий с ВНИИМ при аккредитации	ВНИИМ	Лаборатории, аккредитованные ВНИИМ в системе ЛРК	по мере аккредитации

Практическое использование результатов ключевых сличений ВНИИМ в медицинской диагностике и терапии

Значение единицы активности радионуклидов национального эталона России, установленное путем участия ВНИИМ в ключевых сличениях распространяется в РФ посредством калибровки вторичных эталонов и поверки средств измерений, в том числе

- калибровки вторичных эталонов – наборов источников из кобальта-60 и цезия-137 и аттестации методики первичной поверки при выпуске источников, в том числе, кобальтовых игл, из производства- в НИИАР, на х/к Маяк;
- калибровки источников из иридия-192, гадолиния-153 и хрома-51, применяемых в установках для денситометрии костной ткани и аттестации методики первичной поверки при выпуске источников в НИИАР;
- калибровки дозкалибраторов, используемых в медицинских учреждениях для измерения активности радионуклидов в фармпрепаратах

Использование эквивалентности национальных эталонов в международной торговле и обмене информацией в области измерений активности радионуклидов



Спасибо за внимание

*198005 Санкт-Петербург, Московский пр.19.
факс +7 812 113 01 14*

*Руководитель лаборатории
Харитонов Игорь Аристархович
тел. +7 812 323 96 11
факс +7 812 323 96 17
e-mail i.a.kharitonov@vniim.ru*