

**Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»**

**Управляющая компания ЗАО «Наука и инновации»**



**Научно-практическая конференция  
«Радиационные технологии: достижения  
и перспективы.  
Ядерная медицина»**

**21-23 октября 2014 г.**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

г. Ялта

## Содержание

<b>(1). ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА. ОБОРУДОВАНИЕ И ДОЗИМЕТРИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ</b> .....	5
60 ЛЕТ АДРОННОЙ ТЕРАПИИ .....	5
ГАММА-ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АГАТ-SMART ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ .....	6
ПРОТОННАЯ ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ В ОНКООФТАЛЬМОЛОГИИ: РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ ПОЛЕЙ .....	7
РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО КЛИНИЧЕСКОГО ДОЗИМЕТРА ДЛЯ СИСТЕМЫ МНОГОПАРАМЕТРОВОГО ПРЯМОГО КОНТРОЛЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ В ЗОНАХ МЕДИЦИНСКОГО ИНТЕРЕСА - ОПУХОЛИ И ОРГАНАХ РИСКА .....	8
ПРЯМОЙ УЧЁТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА С 160 МЭВ-НЫМ ПУЧКОМ ПРОТОНОВ В МНОГОСЛОЙНОМ ЦИЛИНДРЕ ФАРАДЕЯ .....	9
УСКОРИТЕЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ЭПИТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ .....	10
РАЗВИТИЕ ПО ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ РАСЧЕТОВ ДОЗОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЛЕЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ .....	11
ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА В ДЕПАРТАМЕНТЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ОАО «РЖД» .....	12
ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ <sup>18</sup> F -FDG МЕТОДОМ ПЭТ/КТ В КАЗАХСТАНЕ .....	13
РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ .....	14
ПРИКЛАДНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕРСОНАЛА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ТЕРАПИИ .....	15
<b>(2). ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ. ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ, АЛЬТЕРНАТИВЫ</b> .....	17
ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТРАНСПЛУТОНИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	17
РАДИОНУКЛИДНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ .....	18

<b>(1) ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА (ПРОДОЛЖЕНИЕ) МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИОИЗОТОПНОЙ ДИАГНОСТИКИ</b> .....	20
ПЕРВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ГАММА-ТОМОГРАФ «ЭФАТОМ» .....	20
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ОДНОФОТОННОЙ ЭМИССИОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ И ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ <sup>1</sup> .....	21
СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОГО ТОМОГРАФА – ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ .....	22
ДЕТЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ ДЛЯ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	23
РЫНОК ДЕТЕКТОРОВ CDZnTe И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ .....	24
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИВВ-2М ДЛЯ НАРАБОТКИ РАДИОИЗОТОПОВ. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	25
ПРОИЗВОДСТВО РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ОАО «ГНЦ НИИАР».....	26
ЗАКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ И ПРОСТАТЫ .....	27
РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХРОМАТОГРАММ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ ПРЕПАРАТА МОЛИБДЕН-99 .....	27
ЦИКЛОТРОННЫЙ КОМПЛЕКС СС-18/9М ДЛЯ НАРАБОТКИ РАДИОИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РФП ДЛЯ ПЭТ ДИАГНОСТИКИ .....	28
МИШЕНИ И МИШЕННЫЕ СТАНЦИИ ПО НАРАБОТКЕ РАДИОИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ПЭТ ДИАГНОСТИКИ.....	29
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРИБОРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ .....	30
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ СИНТЕЗА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИЗОТОПОВ F-18 и C-11 .....	31
ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАРАБОТКИ РАДИОИЗОТОПА $^{177}\text{Lu}$ НА РЕАКТОРЕ ИВВ-2М.....	32

ЦЕЗИЙ-131 ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ.....	33
РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРЕПАРАТА ЙОД-131 .....	34
<b>(3) РАДИАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ .....</b>	<b>36</b>
ФИЛИАЛ ОАО «НИФХИ им. Л.Я. КАРПОВА» - ЦЕНТР РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	36
ФГУП «НПП «ТОРИЙ» - РАЗРАБОТЧИК И ИЗГОТОВИТЕЛЬ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДЕФЕКТΟΣКОПИИ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ .....	37
ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСКОРИТЕЛИ ИЛУ В СОВРЕМЕННЫХ РАДИАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ .....	37
УСКОРИТЕЛИ ЭЛВ .....	38
ФГУП «НПП «ТОРИЙ» - РАЗРАБОТЧИК И ИЗГОТОВИТЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ СВЧ СИГНАЛА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ ЧАСТИЦ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ .....	39
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ И РАДИОХИМИЧЕСКОЕ НЕЙТРОННО- АКТИВАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РТ, РD, RE, IR, AU И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ .....	40
ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	41
РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЦЕЛЯХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	42
РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА СУСПЕНЗИИ МИКРООРГАНИЗМОВ .....	43
РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ.....	44
ИССЛЕДОВАНИЕ «ЭФФЕКТА ПАМЯТИ» РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ.....	45
ПРОИЗВОДСТВО СТЕРИЛЬНОЙ АКТИВНОЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СУБСТАНЦИИ СТРОНЦИЯ-82.....	46

# **(1). ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА. ОБОРУДОВАНИЕ И ДОЗИМЕТРИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

## **60 ЛЕТ АДРОННОЙ ТЕРАПИИ**

Г.И. Клёнов, В.С. Хорошков, В.И. Костюченко

ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «КИ», г. Москва, *kv-i@ya.ru*

В докладе рассматриваются два периода разработок в области адронной лучевой терапии (АЛТ): период исследований 1954-1990гг. и период внедрение адронной терапии в практическое здравоохранение, начиная с 1991 г.

В настоящее время 47 многокабинных клинических центров АЛТ уже работает в мире, в том числе 7 ионных центров, в которых, в основном, применяются ионы углерода. Примерно такое же число центров сооружается. Сложилось общее понимание, что АЛТ это очень эффективный и часто безальтернативный метод радиационной терапии.

Обсуждаются основные физико-технические, уже установившиеся принципы построения многокабинных клинических центров, включая используемые ускорители, лучевые установки, инфраструктуру и пр.

Обсуждаются также тенденции развития оборудования для АЛТ и технологические разработки, включая предложения по созданию однокабинных центров АЛТ, выполненных по схеме один ускоритель - одна лучевая установка, проблемы снижения стоимости этого довольно дорогого метода лечения. Приводится 45 летняя российская история протонной лучевой терапии и огромный вклад российских ученых в развитие этого метода, а также ситуация с использованием этого метода лечения, сложившаяся в России к настоящему времени.

## ГАММА-ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АГАТ-SMART ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

М.В. Хетеев, А.М. Ломоносов, Д.И. Хмелинин

ОАО «НИИТФА», Москва, *xeteeb@niitfa.ru*

Основным разработчиком аппаратуры для контактной лучевой терапии начиная с 70-х г.г. прошлого века является ОАО «НИИ технической физики автоматизации». Созданные Институтом аппаратурные комплексы по своей клинической эффективности не уступают лучшим зарубежным образцам.

В 2014 году Институтом создан Гамма-терапевтический комплекс пятого поколения АГАТ-SMART. Основа создания Комплекса – накопленный опыт разработки и длительной эксплуатации предыдущих поколений аппаратуры, современные технологии, комплектующие изделия и программные продукты международного класса.

Гамма-терапевтический комплекс для контактной лучевой терапии предназначен для внутриволостной и интралюминальной гамма-терапии при раке шейки и тела матки, влагалища, прямой кишки, мочевого пузыря, полости рта, пищевода, бронхов, трахеи, носоглотки; для внутритканевой и поверхностной гамма-терапии злокачественных опухолей

К Комплексу разработан уникальный с радионуклидом кобальт-60, а также иридий-192, система трехмерного дозиметрического планирования с топометрической системой на базе рентгенодиагностической установки типа С-дуга, КТ, МРТ, УЗИ.

Отличительные особенности Комплекса:

1. Наличие топометрической системы на базе специализированного лечебного стола и кресла, обеспечивающих предлучевую подготовку и облучение на одном месте

2. Усовершенствованные аппликаторы, обеспечивающие высокую воспроизводимость условий облучения, снижение лучевых осложнений, возможность корректной интерпретации результатов лечения

3. Уникальный источник гамма-излучения кобальт-60, созданный специально для Комплекса.

4. Непосредственная (а не косвенная программная) блокировка присоединения аппликатора.

5. Аварийное освещение процедурного помещения.

Широкие функциональные возможности, удобный интерфейс на русском языке, оперативное и дешевое техническое обслуживание обеспечивают возможность эксплуатации в онкологических учреждениях всех уровней.

# ПРОТОННАЯ ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ В ОНКООФТАЛЬМОЛОГИИ: РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ ПОЛЕЙ

В.И. Костюченко<sup>1</sup>, С.И. Самарин<sup>2</sup>, А.С. Углов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «КИ», Москва, *kv-i@ya.ru*

<sup>2</sup> ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,  
*a.s.uglov@vniitf.ru*

XXI век ознаменовался бурным развитием адронной терапии. Число центров, использующих тяжелые заряженные частицы – протоны и более тяжелые ионы - в медицине, приближается к 50, количество пациентов превысило 120 тысяч, причем 102 тысячи, прошли курс протонной лучевой терапии (ПЛТ). В России ПЛТ используется с конца 60-х годов прошлого века. К концу 90-х годов, к моменту сооружения первого клинического центра ПЛТ в США совокупный опыт трех центров в Дубне, Москве и Гатчине составлял около четверти пролеченных на протонных пучках пациентов в мире. Около 80% этих пациентов получили лечение в экспериментальном Центре ПЛТ Института теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ, Москва), причем более трети из них были с офтальмологической патологией - в основном со злокачественными новообразованиями (ЗН) глаза. Для подобных мишеней достоинства ПЛТ очевидны: высокие градиенты дозы на краях поля, строго ограниченный пробег, возможность точного совмещения дозовых полей с облучаемой мишенью. Резорбция (локальный контроль) опухоли достигается более чем в 90% случаев. В 70% случаев удается сохранить зрение. Поэтому, практически все современные клинические центры оснащаются горизонтальным фиксированным пучком для облучения ЗН глаза.

При использовании пучка ускоренных протонов в онкоофтальмологии, параметры выводимого пучка могут сильно повлиять на всю технологию формирования дозовых полей, конструкцию и размещения элементов формирования. В докладе рассматриваются различные ситуации, связанные с вариацией параметров, в частности интенсивности протонного пучка, производятся расчеты дозовых полей при разных сценариях их формирования, рассматривается влияние интенсивности пучка на конструкцию и размещение элементов формирования. Моделирование ситуаций производится с помощью программы Монте-Карло IThMC, разработанной во ВНИИТФ специально под нужды расчетов и исследований на медицинском протонном пучке. Результаты данной работы используются в отделе Медицинской физики ИТЭФ для разработки ТЗ на специализированную Установку для облучения ЗН глаза и его придатков.

# **РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО КЛИНИЧЕСКОГО ДОЗИМЕТРА ДЛЯ СИСТЕМЫ МНОГОПАРАМЕТРОВОГО ПРЯМОГО КОНТРОЛЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ В ЗОНАХ МЕДИЦИНСКОГО ИНТЕРЕСА - ОПУХОЛИ И ОРГАНАХ РИСКА**

А.В. Сумин, В.А. Титова, Е.И. Яковлев, А.М. Медведков, Е.В. Скачков,  
А.А. Некрасова, И.Н. Абалакин

ОАО «НИИТФА», Москва, *AVSumin@niitfa.ru*

При использовании современных методов лучевой терапии с различной конфигурацией и резкими границами радиационных полей остро стоит задача уменьшения габаритов детекторов клинических дозиметров, особенно в измерениях *in vivo*. При этом к детекторам предъявляются высокие требования по точности, радиационной стойкости, ходу жесткости, угловой зависимости, тканеэквивалентности, возможности проведения измерений в режиме реального времени, удобству в эксплуатации в условиях клиники и коммерческой доступности.

Алмазные детекторы наиболее точны (точность измерения 3%), но имеют большие физические размеры (диаметр чувствительного элемента 5 мм без корпуса). Детекторы на основе натуральных алмазов это дорогой и длительный процесс отбора (только 1% всех природных алмазов обладают желаемой чистотой), компания PTW- лидер в данном сегменте в настоящее время отказалась от выпуска дозиметров на основании алмазных детекторов. ТЛД детекторы не позволяют снимать показания в режиме реального времени и точность их измерения не менее 15%. Точность измерения полупроводниковых MOSFET детекторов зависит от расстояния до источника излучения и составляет 5-30 %. Кроме того MOSFET детекторы и полупроводниковые диоды имеют радиационную стойкость не более 200 Гр.

Анализ литературы показывает, что наилучшими показателями обладают пластиковые сцинтилляционные детекторы, в том числе их новые модификации с уменьшенным физическим размером. Их можно использовать не только непосредственно для *in-vivo on line* дозиметрии, но и при исследованиях в фантоме, при проверке работы систем дозиметрического планирования и оборудования для брахитерапии.

Выходные сигналы таких детекторов представляют собой токовые импульсы длительностью в сотни наносекунд с амплитудой в десятки микроампер. Регистрация таких сигналов не представляет трудностей для современной электроники. Средний ток в импульсе 30—40 мкА (по сравнению с ионизационными камерами это в на 10 порядков больше, по сравнению с алмазными детекторами на 4 порядка), это снимает многие

требования по экранированию, помехоустойчивости, длине и конструкции кабеля.

Авторами разработан экспериментальные образцы детекторов на основе сцинтилляционного волокна BSF-10 диаметром 1 мм, оптического волокна KURARAY "Clear-PS" диаметром 1 мм, кремниевого фотоумножителя (SiPM) диаметром 1,4 мм. В точку измерения помещается только пластиковый сцинтиллятор, параметры которого в диапазоне температур от 15 °С до 40 °С не изменяются, напряжение при этом к нему не подводится, ток не протекает, что очень важно при измерениях *in vivo*, Детекторы с помощью кабеля длиной до 30 метров подсоединяются к 7-ми канальному электрометрическому блоку ввода-вывода, который через интерфейс Ethernet подключен к персональному компьютеру. На ПК установлена прикладная программа обработки и отображения данных в режиме реального времени.

Основные характеристики экспериментального образца дозиметра: диаметр детектора в корпусе 3,5 мм (имеется дополнительный оптоволоконный канал для подавления эффекта Черенкова в дифференциальном режиме, при использовании в малых радиационных полях без дополнительного канала диаметр составляет 2 мм), чувствительность не менее 5 мкА/Гр/мин в радиационном поле Со-60, линейный диапазон 50 Гр/мин, темновой ток 0,3 мкА, радиационная стойкость (изменение чувствительности на 1%) не менее 10<sup>4</sup> Гр, относительная погрешность измерений не более 3%. Конструкция позволяет герметично разместить в одной трубке диаметром 6 мм сразу 5 чувствительных элементов (квазидетекторов) на расстоянии 1 см. друг от друга (так называемый составной детектор для измерений *in vivo*).

## **ПРЯМОЙ УЧЁТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА С 160 МЭВ-НЫМ ПУЧКОМ ПРОТОНОВ В МНОГОСЛОЙНОМ ЦИЛИНДРЕ ФАРАДЕЯ**

А.С. Доросев<sup>1</sup>, В.И. Костюченко<sup>2</sup>, С.И. Самарин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,  
*s.i.samarin@vniitf.ru*

<sup>2</sup>ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «КИ», Москва, *kv-i@ya.ru*

Настоящая работа посвящена изучению влияния неопределенностей применительно к интерпретации данных двух экспериментов Готчелка и др., которые были проведены в 1999 и 2003 годах на Гарвардском циклотроне с использованием многослойных цилиндров Фарадея (МСЦФ).

Одной из неопределенностей в постановке экспериментов была толщина листов, из которых собирался МСЦФ. Результаты эксперимента в

расчетах по программе IThMC рассматривались как одна из возможных реализаций «установки», а при проведении расчетов рассматривалась серия различных «установок» с различными актуальными толщинами листов, которые разыгрывались на стадии задания исходных данных в соответствии с нормальным распределением с математическим ожиданием, соответствующим средней толщине листов.

Учет неопределенностей приводит к естественному разбросу в рассчитываемых значениях из-за возможных различных суммарных толщин пластин, находящихся на пути пучка протонов. В работе показано, что поскольку функция, описывающая зависимость заряда от пройденной протоном толщины вещества, имеет резко выраженный пик, разброс возможных значений оцениваемого функционала значителен в местах наибольшего градиента и может достигать 50%.

Сильное влияние неопределенности исходных данных может проявляться на значениях доз при расчете дозовых полей в пациенте при планировании лечения, особенно в области пика Брэгга. Ранее, в ряде работ уже указывалось на необходимость учета неопределенностей, связанных не только с геометрическими параметрами, которые могут достигать 2.5% (неопределенности данных компьютерной томографии), но и неточностями данных о взаимодействии, биологических эффектах и описании материалов. Для учета целого комплекса неопределенностей большие надежды возлагаются на использование методов Монте-Карло и методы прямого учета неопределенностей.

## **УСКОРИТЕЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ЭПИТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ**

Д.А.Касатов, А.С.Кузнецов, А.Н.Макаров, Ю.М.Остринов,  
И.Н.Сорокин, Т.В.Сычева, С.Ю.Таскаев, И.М.Щудло

Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, [taskaev@inp.nsk.su](mailto:taskaev@inp.nsk.su)

Перспективной методикой лечения злокачественных опухолей рассматривается бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ), обеспечивающая избирательное уничтожение клеток опухолей путём предварительного накопления в них нерадиоактивного изотопа бор-10 и последующего облучения эпитепловыми нейтронами. Проведенные на ядерных реакторах клинические испытания методики показали, что БНЗТ позволяет лечить глиобластомы мозга, метастазы меланомы и ряд других опухолей. Для широкого внедрения методики в клиническую практику требуются компактные ускорительные источники нейтронов. В докладе представлен современный уровень развития ускорительной концепции БНЗТ в мире и в деталях представлен и обсуждается источник эпитепловых нейтронов на

основе ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией и литиевой нейтроногенерирующей мишени, созданный в ИЯФ СО РАН. На ускорителе получен стационарный 2 МэВ 1,6 мА протонный пучок с высокой монохроматичностью по энергии и стабильностью по току. Разработана и испытана литиевая нейтроногенерирующая мишень, оптимальная для БНЗТ. Осуществлена генерация нейтронов и измерены параметры нейтронного потока. Проведено облучение клеток, инкубированных в среде борфенилаланина, – оно наглядно продемонстрировало эффект БНЗТ. В докладе представлены результаты экспериментальных исследований и обсуждаются перспективы развития методики БНЗТ, в том числе с применением разработанного ускорительного источника эпитепловых нейтронов.

## **РАЗВИТИЕ ПО ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ РАСЧЕТОВ ДОЗОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЛЕЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ**

А.С. Доросев<sup>1</sup>, В.И. Костюченко<sup>2</sup>, С.И. Самарин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск,  
*s.i.samarin@vniitf.ru*

<sup>2</sup>ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «КИ», Москва, *kv-i@ya.ru*

В работе приводится обзор специализированной программы IThMC для расчета дозовых полей при планировании лечения онкологических больных протонной терапией. Приводится мотивация создания этой программы, ее отличительные особенности по сравнению с другими известными кодами. Так же приводятся результаты верификации программы IThMC и некоторые примеры ее практического применения.

Кроме того, в работе обосновывается необходимость развития программы и расширение ее возможностей с учетом доступных современных вычислительных ресурсов. Формулируются требования к новому программному обеспечению, предлагается реализация на базе программы IThMC, описывается текущее состояние работ по созданию нового ПО.

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА В ДЕПАРТАМЕНТЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ОАО «РЖД»

О.Ю. Атьков, М.Р.Калинин, И.О.Томашевский, А.М.Зудин

Департамент здравоохранения ОАО «РЖД», Москва, [ckb2semashko@mail.ru](mailto:ckb2semashko@mail.ru)

Прогресс современной лучевой диагностики характеризуется внедрением в клиническую практику новых сочетанных систем томографической визуализации с использованием различных способов получения изображения – однофотонной эмиссионной в сочетании с рентгеновской компьютерной томографией (ОФЭКТ/КТ), позитронной эмиссионной в сочетании с рентгеновской компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), позитронной эмиссионной в сочетании с магнитнорезонансной компьютерной томографией (ПЭТ/МРТ). Использование названных сочетанных систем позволяет получить молекулярную (отражающую определённую патофизиологическую сторону патологического процесса) и структурную визуализацию органа, что даёт возможность устанавливать диагноз на ранних доклинических стадиях заболевания и контролировать проводимую или проведённую терапию (в том числе и превентивную).

С целью улучшения диагностики социально-значимых заболеваний, которые чаще всего приводят к инвалидности и смертности (ишемическая болезнь сердца и мозга, злокачественные опухоли), к 2014 году для НУЗ «Центральная клиническая больница №2 им. Н.А.Семашко ОАО «РЖД» были приобретены следующие комбинированные томографы фирмы **SIEMENS**: ОФЭКТ/КТ - **SymbiaT16**, ПЭТ/КТ – **Biograph mCT X 128**, ПЭТ/МРТ – **Biograph mMR**.

В конце 2012 года в лаборатории радиоизотопной диагностики начал эксплуатироваться ОФЭКТ/КТ – **Symbia T16**, остальные томографы планируется ввести в строй с 2015 года.

В настоящее время осуществляется монтаж **циклотрона IVA Cyclone 18/9** для производства позитрон-излучающих радиофармацевтических препаратов, используемых при ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ.

Следует подчеркнуть, что для работы названного оборудования необходима организация на базе указанного циклотрона **циклотронно-радиохимического комплекса**. Для этого необходимо, чтобы на предприятиях госкорпорация «Росатом» была ускорена подготовка специалистов (например, инженер по управлению циклотроном и по радиационной безопасности, медицинский физик, радиохимик, химик-аналитик и другие), без которых невозможно ввести в строй этот комплекс.

## ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ $^{18}\text{F}$ -FDG МЕТОДОМ ПЭТ/КТ В КАЗАХСТАНЕ

С. А. Нуркенов, А.Е. Рыскулов\*

АО "Республиканский диагностический центр" Астана, Казахстан.

\*ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

*S.Nurkenov@gmail.com*

Целью данной работы является производство и применение  $^{18}\text{F}$ -FDG методом Позитронно-эмиссионной томографии.

Одной из новейших технологий лучевой диагностики является метод Позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной (далее - ПЭТ/КТ) с применением радиофармпрепарата  $^{18}\text{F}$ -FDG. Совмещенная ПЭТ-КТ дает возможность за одно обследование получить и морфологическую, и функциональную информацию всего тела или одного органа в целом. Для целей ПЭТ/КТ используются чрезвычайно короткоживущие радионуклиды. Получение из них радиофармпрепаратов представляет собой серьезную проблему - на производство изотопа  $^{18}\text{F}$ , синтез меченого соединения (причем не простой, а направленный - изотоп должен быть введен в точно назначенное место в молекуле), доставку препарата к больному, введение препарата в организм человека и проведение анализа.

В результате выполнения научных исследований за 1-ый квартал 2014 года, было проведено 207 исследований. В качестве основных показаний к проведению ПЭТ/КТ исследований изложены следующие: диагностика злокачественных опухолей различных типов и локализаций: включая головной мозг, определение регионального распространения и поиск отдаленных метастазов злокачественных опухолей, дифференциальная диагностика, диагностика эффективности комбинированного лечения онкологических заболеваний и др.

В большинстве случаев, применение радиоизотопной диагностики помогает сохранить жизнь пациентам. Ценность наших ПЭТ/КТ исследований заключается в выявлении заболеваний, не диагностируемых другими методами на ранней стадий, когда возможно излечение, а также в улучшении состояния и продлении жизни тяжелобольных пациентов.

Литература:

1. «Первый опыт использования позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией в онкологической практике Республики Казахстан» / Ахметов Е.А., Канафин Г.К., Рыскулова Г.О., Ибраев К.К., Базарбаев Н.А., Нуркенов С.А. / Материалы

IV Евразийского радиологического форума, (Алматы 2011г.) 15-16 июля 2011г. С.61-62.

2. Позитронная эмиссионная томография. /А.М.Гранова и Л.А.Тютина./ г.Санкт-Петербург. 2008 г. РНЦРХТ.

## **РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Е.В. Новиков, А.В. Важенин, А.Н. Романов

Челябинский областной клинический онкологический диспансер,  
Челябинск, *roc\_chel@mail.ru*

Ядерные медицинские технологии современной клинической медицины - направление, использующее радиоактивные вещества для диагностики и лечения различных заболеваний в практическом здравоохранении. Преимущества, а в ряде случаев и незаменимость методов ядерных медицинских технологий обусловили на протяжении нескольких последних десятилетий их устойчивое развитие и превращение в неотъемлемую часть клинической практики.

Внедрение ядерных технологий в медицинскую практику необходимо производить комплексно, предполагая производственные площадки и мощности, возможность подготовки высококвалифицированных кадров по данному направлению, а также создавая разветвленную и оснащенную сеть потребителей – радионуклидных лабораторий и радиологических подразделений.

В настоящее время в области сформировалась комплексная система оказания медицинской помощи, связанная с использованием наработок современной ядерной медицины. Создана значительная часть инфраструктуры этого комплекса, куда входят:

- 1) циклотроны (активное производство F-18) и оборудование ПЭТ-центров в г. Челябинске и г. Магнитогорске Челябинской области на базе онкологических диспансеров;
- 2) циклотрон (активное производство F-18, C-11, I-123) Федерального ядерного центра им. Академика Забабахина в г. Снежинске с возможностью расширения перечня производимых радионуклидов;
- 3) производственные мощности НПО «Маяк» в г. Озерске и активное производство Mo-Tc с возможностью расширения перечня производимых радионуклидов;
- 4) Уральский центр нейтронной терапии ГБУЗ «Челябинский клинический онкологический диспансер» с площадкой в г. Снежинске;
- 5) радиологическое оснащение окружного онкологического диспансера в г. Челябинске: комплекс линейных ускорителей, включая систему CyberKnife, аппаратура для брахитерапии I-125, Co-60, Ru/Ro-106,

отделение для радионуклидной терапии I-131 на 8 коек, а также Sr-89, дистанционные гамма-терапевтические установки Co-60;

Учитывая эти факторы можно с уверенностью сказать, что в Челябинской области есть все предпосылки для лидерства в России в области ядерной медицины.

## **ПРИКЛАДНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕРСОНАЛА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ТЕРАПИИ**

П.О. Румянцев, д.м.н.<sup>1</sup>, С.В. Соколов, к.т.н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Эндокринологический научный центр» Минздрава России,  
Москва

<sup>2</sup> ООО «НПП «РАДИКО», Обнинск, *s.sokolov@radico.ru*

Текущие темпы развития ядерной медицины в России заставляют обратить особое внимание на вопросы радиационной безопасности при применении источников ионизирующего излучения в медицинских целях. В данном докладе рассматриваются практические аспекты и технические средства, применяемые для достоверной оценки доз различных ионизирующих излучений, получаемых персоналом отделений радионуклидной диагностики и терапии.

Использование наиболее распространённых персональных термолюминесцентных дозиметров (ТЛД) в лечебно-профилактических учреждениях связано с организационными и технологическими сложностями и в большинстве случаев экономически неоправданно. Кроме того, применение ТЛД дозиметров сопряжено с трудностью достоверной оценки малых доз ионизирующих излучений. В связи с этим особое внимание привлекает новый тип персонального дозиметра DIS, разработанного компанией Mirion Technologies (RADOS Oy). Принцип действия дозиметров DIS основан на комбинации свойств ионизационной камеры и элементов долговременного хранения электронного заряда в виде ловушек на плавающем затворе MOSFET транзистора. Современные технические характеристики и простота в эксплуатации делают эти дозиметры надежным и практичным метрологическим инструментом для контроля индивидуальных доз облучения.

В России комплекс индивидуального дозиметрического контроля на базе дозиметров DIS впервые планируется ввести в эксплуатацию в Институте детской эндокринологии ФГБУ «Эндокринологический научный центр» Минздрава России. Внедрение комплекса позволит

получать точные и достоверные оценки доз ионизирующих излучений, полученных персоналом, анализировать динамику доз облучения во времени, оценивать индивидуальные радиационные риски.

В клинической практике внедрение данного комплекса позволит в будущем проводить расчеты общей и локальных доз облучения, полученных пациентами при радионуклидной диагностике и терапии, дозовые нагрузки на патологические очаги и прилегающие ткани, более точно оценивать коэффициенты поглощения излучения и другие факторы.

# (2). ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ. ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ, АЛЬТЕРНАТИВЫ

## ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТРАНСПЛУТОНИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М.А.Рябинин, Ю.Г.Топоров, В.М.Радченко, В.А. Тарасов

ОАО «ГНЦ НИИАР», Димитровград, [orip@niiar.ru](mailto:orip@niiar.ru)

Проведен анализ производства и применения источников ионизирующего излучения на основе трансплутониевых элементов ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{243}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{248}\text{Cm}$ ,  $^{249}\text{Cf}$ ,  $^{252}\text{Cf}$ ). Показано, что использование ТПЭ в форме металлов, сплавов с металлами платиновой группы, а также химически устойчивых соединений (таких как силициды, карбиды и т.п.) в качестве активной части источников улучшает их экологическую безопасность.

В ОАО «ГНЦ НИИАР» производятся источники альфа-, гамма-, нейтронного излучения, а также осколков деления. Приведены примеры производства альфа-источников на основе кюрия-244 и их практического применения для химического анализа поверхности внеземных объектов (Марса, Фобоса), а также облучения полупроводниковых структур.

Показана возможность использования сплава  $^{241}\text{Pu}$ - $^{241}\text{Am}$  для получения активной части гамма-источника на основе америция-241 термическим разложением сплава в высоком вакууме с последующей конденсацией более летучего америция-241 на подложку. Изотопная и химическая чистота металлического америция составила не менее 99%. Такие источники могут использоваться для анализа технологических образцов и природных материалов, используя метод флуоресцентного анализа или эффект Мессбауэра.

Описана методика получения мишеней на основе  $^{243}\text{Am}$ ,  $^{244,248}\text{Cm}$ ,  $^{249}\text{Bk}$  и  $^{249}\text{Cf}$  для синтеза сверхтяжелых элементов. Облучением мишеней ускоренными ионами  $^{48}\text{Ca}$  в ЛЯР ОИЯИ (г. Дубна) были получены и исследованы ядерно-физические характеристики новых химических элементов (115, 116, 117, 118) Периодической системы Менделеева.

Представлена конструкция разработанного в ОАО «ГНЦ НИИАР» нейтронного источника на основе сплава кюрия-248 с платиной. Период полураспада кюрия-248 ( $3,6 \cdot 10^5$  лет) значительно больше, чем у калифорния-252 (2,6 лет), с другой стороны достаточно большой выход нейтронов ( $4,12 \cdot 10^4$  нейтронов/с·мг) позволяет использовать его в различных научных и практических целях.

## **РАДИОНУКЛИДНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ**

Бердников В.М., Крошкин Е.Н., Чернов В.Н.

ОАО «НИИТФА», Москва, *kroshkin@niitfa.ru*, *VMBerdnikov@niitfa.ru*

Радионуклидная энергетика на базе радионуклидных термоэлектрических генераторов (РИТЭГ) как самостоятельное направление радиационной техники в России ведет свой отсчет с начала шестидесятих годов XX столетия. Ее зарождение было обусловлено потребностями в источниках электропитания мощностью в диапазоне от 0,01 до 100 Вт для энергообеспечения аппаратуры с высокой степенью автономности. Лавинообразное развитие электроники на основе полупроводников требующей невысоких напряжений и отличающейся экономичностью, а также способной годами работать без профилактики, предоставило широкий спектр экономически выгодных применений РИТЭГ.

Герметичность конструкции, отсутствие движущихся частей и стабильность тепловых процессов придает РИТЭГ уникальные свойства: отсутствие вибраций, радиозумов, нечувствительность к климатическим воздействиям, а главное, отсутствие необходимости значимого профилактического обслуживания в течение срока службы в 10-ть и более лет. Именно последнее свойство сделало прибыльным применение РИТЭГ а ареале их основного назначения – труднодоступные объекты, где обслуживание оказывается очень и очень дорогим.

Доминирующим потребителем РИТЭГ (пряжка 850 штук) по изложенным причинам явилась морская и в меньшей степени речная навигация.

Вторыми по количеству потребляемых (свыше 50 штук) РИТЭГ были автоматические метеостанции на территории СССР и Антарктиды.

Высокую эффективность показало использование РИТЭГ для питания сейсмической аппаратуры. Полное отсутствие механических вибраций и длительный межпрофилактический период обеспечивали малые искажения и непрерывность получения сейсмической информации.

Разумеется, что выше перечисленным не ограничивается использование РИТЭГ, как источника питания постоянным током

аппаратуры, когда требуется источник питания высокой надежности и автономности.

Не будет преувеличением сказать, что наиболее ответственным узлом, определяющим надежность РИТЭГ, является термоэлектрическая полупроводниковая батарея. Батарея не должна требовать замены на протяжении всего срока службы, иначе эксплуатационные качества РИТЭГ полностью теряются.

Учитывая, что РИТЭГ является полностью изолированной теплоэлектрической машиной, конструкция ТЭБ значительно отличается от батарей, используемых в генераторах с другими типами источников тепла. Изготовление, ТЭБ ориентированных на использование в РИТЭГ, потребовало разработки специальных и большей частью уникальных технологий приготовления полупроводникового материала, формирования термоэлементов, их защиты и коммутации. Эти задачи специализированно решались в Сухумском Физико-Техническом институте.

Практически все РИТЭГ выработали свой назначенный срок службы и двух, и даже трех разово продленный.

В процессе демонтажа и утилизации выполняется разборка РИТЭГ с извлечением радионуклидного источника тепла (РИТ). При этом была возможность оценить состояние элементов конструкции и составных частей изделий. То есть мы имеем хорошую статистику по устойчивости РИТЭГ во времени. Прямой сорокалетний эксперимент это большая редкость.

Вопреки ожиданиям быстрой деградации материала полупроводниковых батарей этот узел показал себя достаточно надежным. Если не принимать во внимание случаи механического или термического повреждения столбиков батарей, то они достойно выдержали испытания. Причем после извлечения батарей они были проверены (естественно выборочно) на их качество. К сожалению, результаты их приемочных испытаний на дату изготовления для сравнения не сохранились, но по имеющимся результатам после "косметического ремонта" ничто не противоречит их повторному использованию.

Таким образом, была подтверждена правильность конструктивных и технологических решений, разработанных СФТИ еще 25-30 лет назад.

По этой причине целесообразно сохранить существующую технологию, тем более, что проводимы разработки в области термоэлектричества не позволяют удовлетворить комплекс требований, предъявляемых к ТЭБ, специализированных на применение в РИТЭГ.

С этой целью в НИИТФА организуется участок для воспроизводства, по крайней мере, критических технологических процессов, не реализуемых на других производствах РФ.

# **(1) ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА (ПРОДОЛЖЕНИЕ) МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИОИЗОТОПНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

## **ПЕРВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ГАММА-ТОМОГРАФ «ЭФАТОМ»**

Ю.Н. Гавриш, Т.Р. Виркунен, А.П. Клинов, П.О. Клиновский,  
К.В. Котенко, А.М. Фиалковский

ОАО «НИИЭФА», Санкт-Петербург, *npkluts@luts.niiefa.spb.su*

Томограф двухдетекторный однофотонный эмиссионный компьютеризированный “ЭФАТОМ” (в дальнейшем – гамма-томограф «Эфатом») предназначен для медицинских диагностических исследований, основанных на визуализации накопления и переноса в организме радиофармпрепаратов, а также визуализации их пространственного трехмерного распределения путем одновременной регистрации радиоактивного излучения.

Гамма-томограф «ЭФАТОМ» используется для фиксации изображений, полученных с помощью излучения, испускаемого специальными введенными внутрь пациента изотопами. Это позволяет исследовать анатомию и функционирование различных органов, а также выявлять костные патологии. Широкое разнообразие изотопных фармацевтических препаратов и используемых методик позволяет проводить диагностику практически любого органа. Информация, получаемая при помощи радиофармпрепаратов, используется в онкологии, кардиологии, нефрологии, неврологии, эндокринологии, травматологии, гематологии, гастроэнтерологии, при заболеваниях головного мозга и др.

Опыт эксплуатации пилотного гамма-томографа показал его высокую надежность. По результатам эксплуатации в 2014 году проведена модернизация гамма-томографа «ЭФАТОМ».

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ОДНОФОТОННОЙ ЭМИССИОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ И ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ<sup>1</sup>

Е.Д. Котина, Д.А. Овсянников, В.А. Плоских, В.Н. Латыпов, А.В. Бабин,  
А.Ю. Широколов, Г.А. Пасечная, П.В. Бажанов

Санкт-Петербургский государственный университет,  
ООО «Центр ИНДИС СПбГУ», Санкт-Петербург, *ekotina123@mail.ru*

В настоящее время ядерная медицина является высокотехнологичной областью медицины, развитие которой требует решения задач, связанных как с совершенствованием аппаратных средств, так и с компьютерной обработкой информации, получаемой в ходе исследований. Основными аппаратными средствами ядерной медицины являются гамма-камеры и однофотонные эмиссионные компьютерные томографы (ОФЭКТ), позитронно-эмиссионные томографы (ПЭТ) и гибридные аппараты (ОФЭКТ/компьютерный томограф (КТ), ПЭТ/КТ).

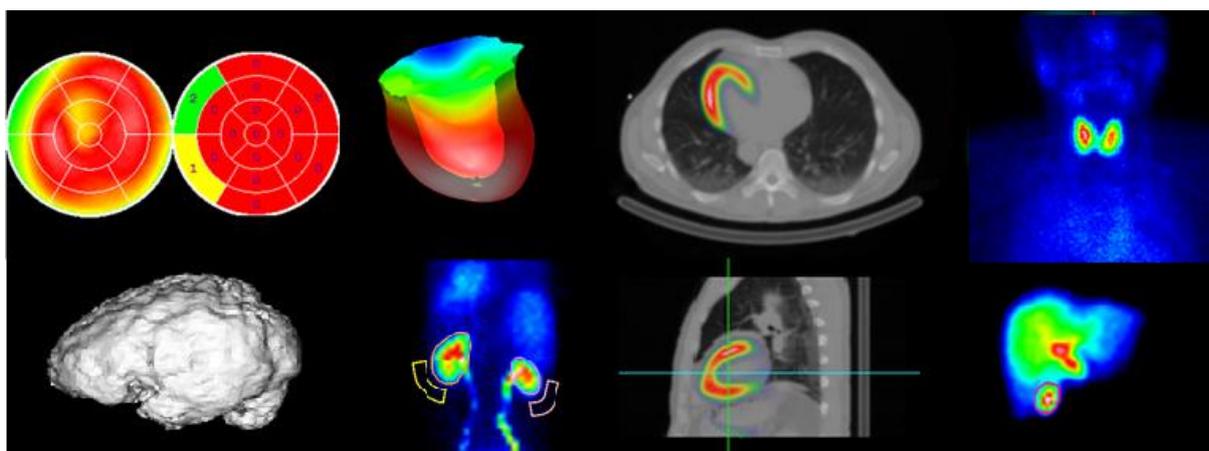


Рис.1. Обработка и визуализация данных

Создано программное обеспечение для обработки данных ОФЭКТ, включающее обработку статических, динамических, томографических и синхронизированных с ЭКГ исследований. Разработано программное обеспечение реконструкции и визуализации данных ПЭТ, которое позволяет восстанавливать трехмерное распределение радиофармпрепарата итерационными методами. Быстродействие увеличивается при использовании современных графических процессоров. Трехмерная визуализация делает возможным детальное изучение исследуемой области. Также программное обеспечение реализует совмещение изображений ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ, выполненных в одной системе координат.

<sup>1</sup> Работа была выполнена при частичной финансовой поддержке СПбГУ (тема 9.38.673.2013).

## СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОГО ТОМОГРАФА – ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ

Бабин А.Л., Баталин А.В., Горбатенко А.Ю., Еланчик А.А.,  
Жаворонко А.И., Кулебякин Ю.М., Черемухин А.И.

ОАО «НИИТФА», Москва, *lab5@vniitfa.ru*

В докладе представлены результаты разработки макета позитронно-эмиссионного томографа всего тела, включающего в себя три основные составные части:

- детектирующую часть - детекторы для регистрации парных гамма-квантов с энергией 511 кэВ и систему первичной обработки сигналов с них;
- систему автоматизированного перемещения пациента в процессе исследования (стол пациента);
- систему обработки информации и визуализации данных.

В детектирующей части используются матрицы кристаллов ВГО формата 4x4 с размерами пикселя 3,16x3,16x22 мм. Общее количество матриц в макете 144, диаметр гентри 700 мм.

Обработка сигналов с матриц кристаллов базируется на использовании кремниевых фотоумножителей (SiPM) фирмы «SensL» - детекторные головки типа MatrixSB-9x1 (с платами предусилителя и пороговыми схемами) в количестве 16 штук и 16-канальная плата совпадений Matrix-EVB-16.

Макет стола пациента выполнен на базе двух телескопических колон, обеспечивающих вертикальное перемещение до 400 мм, и двух систем горизонтального перемещения, выполненных на базе двух модулей линейного перемещения, обеспечивающих горизонтальное перемещение паллеты до 2500 мм. Разработанный стол пациента может использоваться как в автономных ПЭТ, так и в комплексах ПЭТ/КТ, ПЭТ/ОФЭКТ.

Система обработки информации и визуализации данных включает в себя комплекс программ, в т.ч. - программу управления модулями макета и сбора первичной информации, программу обработки и визуализации данных

Рассмотрены пути создания отечественного ПЭТ и задачи, которые должны быть решены.

## ДЕТЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ ДЛЯ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И.М. Газизов, Ю.А. Петухов, А.А. Смирнов, В.С. Хрунов

ОАО «Институт физико-технических проблем», Дубна, *iftp@dubna.ru*

Широкозонные детекторные полупроводниковые материалы CdTe и CdZnTe предоставляют возможность изготовления на их основе детекторов рентгеновского и гамма-излучения со спектрометрическими и эксплуатационными характеристиками, обеспечивающими их эффективное использование в составе приборов, предназначенных для контроля ядерных материалов, таможенного контроля, анализа состава вещества, промышленной и медицинской томографии.

Высокий атомный номер ( $Z=50$ ) по сравнению с традиционными полупроводниками, высокая плотность, оптимальная ширина запрещенной зоны (1,5 эВ), высокие удельное сопротивление (более  $10^{10}$  Ом·см) и транспортные характеристики (произведение подвижности электронов на их время жизни более  $10^{-3}$  см<sup>2</sup>/В) позволяют создавать детекторы, работающие при комнатной температуре, с высокой эффективностью регистрации излучения и с требуемым энергетическим разрешением.

В докладе представлены результаты исследования основных характеристик CdTe и CdZnTe производства различных зарубежных и отечественных фирм и изготовленных на их основе образцов детекторов.

Из CdTe фирмы «AcroRad» (Япония) изготовлены экспериментальные образцы многокристалльных детекторов, представляющих собой сборку из 4-х детектирующих структур металл–полупроводник–металл размером  $5 \times 10 \times 3$  мм. Энергетическое разрешение по каждому кристаллу составило в пределах 5,8 – 6,7 кэВ по энергии 59,5 кэВ и в пределах 7,7 – 8,5 кэВ по энергии 122,0 кэВ.

Полученные результаты могут служить основой для создания отечественных детектирующих систем различных томографических устройств и гамма-визоров.

Работа выполнена в ОАО «ИФТП» в рамках государственного контракта с Госкорпорацией «Росатом» от 31.05.2013 г. № Н.4х.44.90.13.1125.

## РЫНОК ДЕТЕКТОРОВ CDZnTE И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

В.Д. Голышев, С.В. Быкова

ООО “КристалсНорд”, Александров, [vladimir.golyshev@crystalsnord.ru](mailto:vladimir.golyshev@crystalsnord.ru)

В работе рассматриваются состояние рынка производителей и тенденции развития детекторов на базе кристаллов CdTe (СТ) и CdZnTe (CZT) в связи с проблемами получения этих материалов. На основе обзора рынка представленного в [1], публикаций и сайтов ведущих компаний, работающих в этой области, а также нашего анализа рынка прослеживаются тренды развития, фиксирующие все более расширяющиеся области приложений этих материалов за счет новых разработок в приборной и детекторной области. Обращается внимание на то, что, не смотря на более чем 50 летний опыт НИР в этой области [2] и 20 летний срок появления первых компаний производителей детекторов и приборов на их основе, цена этих кристаллов и их качество не удовлетворяет современным требованиям. Именно это ограничивает применение СТ и CZT в таких областях близких к массовому производству, как медицина, безопасность, промышленность. В связи с этим, а также в связи с большими перспективами использования кристаллов CdTe, CdZnTe интенсивность НИОКР не снижается до настоящего времени. В последние годы более 70 университетов и фирм работает в области получения этих кристаллов и создания приборов на их основе, к которым присоединяются все новые и новые участники, что можно видеть из работ, представленных на международном семинаре RTSD, проходящем ежегодно в рамках IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference. Число представленных и отобранных докладов находится постоянно на уровне около 150 в последние 10 лет. Отсутствие принципиальных достижений вызвало новый всплеск работ в области материаловедения монокристаллов CdTe, CdZnTe. Рассматриваются применяемые в России и в мире методы получения этих монокристаллов, их возможности, ограничения и перспективы, раскрываются физические и политический причины сложившегося положения в этой области, а также возможные выходы из имеющейся ситуации.

1. <http://www.npp-kvant.ru/pdf-files/ae/sbornik.pdf>
2. Kenneth Zanio, Semiconductors and semimetals v.13, Cadmium telluride, Academic Press NY, 1978, 235 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИВВ-2М ДЛЯ НАРАБОТКИ РАДИОИЗОТОПОВ. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е.Н. Селезнев, Н.А. Котельников, И.М.Русских, А.В Козлов, С.Б.Злоказов

ОАО «Институт реакторных материалов», Заречный, *irm@irmatom.ru*

Исследовательский ядерный реактор ИВВ-2М является легководным бассейнового типа. Номинальная мощность реактора составляет 15 МВт. Основное направление деятельности по использованию реактора – радиационное материаловедение и наработка радиоизотопной продукции.

Активная зона реактора формируется из шестигранных тепловыделяющих сборок (от 36 до 42 штук), шестигранных бериллиевых блоков, экспериментальных и облучательных устройств.

Исходно компоновка активной зоны реактора ИВВ-2М представляла собой шесть секций из тепловыделяющих сборок, образующих шесть боковых нейтронных ловушек для облучательных устройств диаметром до 60мм, и центральную нейтронную ловушку диаметром от 105мм до 130мм, сформированную из фигурных бериллиевых блоков. Установка в центр активной зоны реактора ИВВ-2М тепловыделяющих сборок повысила запас реактивности реактора, а также увеличила число высокопоточных ячеек.

Изначально реактор ИВВ-2М эксплуатировался полугодовыми кампаниями, то есть перекомпоновка тепловыделяющих сборок, и дозагрузка свежих тепловыделяющих сборок осуществлялась раз в полгода. В настоящий момент используется график работы реактора с трехнедельными микрокампаниями, перекомпоновка тепловыделяющих сборок, и дозагрузка свежих тепловыделяющих сборок проводится при каждой межцикловой остановке реактора.

Модернизация активной зоны реактора ИВВ-2М и изменение графика работы позволили успешно нарабатывать в больших объемах такие радиоизотопы как иридий-192 и цезий-131, лютеций-177.

В настоящий момент на реакторе ИВВ-2М успешно производятся следующие радиоизотопы: углерод-14, иридий-192, цезий-131, лютеций-177. В ближайшей перспективе планируется освоить производство радиоизотопов йода-125 и селена-75. В активной зоне реактора практически не используются центральные полости тепловыделяющих сборок, в которых обеспечивается максимальный поток быстрых нейтронов до  $3 \cdot 10^{14}$  н/см<sup>2</sup>·с. В перспективе они могут задействованы для наработки радиоизотопов быстрыми нейтронами.

## ПРОИЗВОДСТВО РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ОАО «ГНЦ НИИАР»

Кузнецов Р.А., Романов Е.Г., Тарасов В.А., Шимбарев Е.В.

ОАО «ГНЦ НИИАР», Димитровград, *orip@niiar.ru*

Производство препаратов радионуклидов и источников ионизирующего излучения было начато в ГНЦ НИИАР более 30 лет назад. Основу этого производства составляет уникальная реакторная и технологическая база Института, позволяющая получать широкий спектр радионуклидов с высокой удельной активностью.

Для наработки радионуклидов используются 5 исследовательских реакторов, в том числе реактор СМ, – один из наиболее высокопоточных в мире (плотность потока тепловых нейтронов до  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ). Выделение радионуклидов из облученных мишеней, очистка их от примесей проводятся на специализированной радиохимической установке, в состав которой входят 13 защитных камер, позволяющих перерабатывать радиоактивные вещества с активностями до 100 кКи.

Для изготовления источников ионизирующих излучений используется специализированная цепочка защитных камер с комплексом оборудования, предназначенного для капсулирования радиоактивных материалов (сердечников источников), герметизации капсул, их дезактивации и сертификации.

В настоящее время в Институте производится широкая гамма радионуклидных препаратов и источников, в которой значительную долю занимает продукция медицинского назначения. В частности, производятся и поставляются как отечественным, так и зарубежным заказчикам препараты радионуклидов  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{188}\text{W}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ , источники нейтронного излучения на основе  $^{252}\text{Cf}$ , фотонного излучения на основе  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{153}\text{Gd}$ . Создана технология изготовления новых видов радионуклидной продукции – миниатюрных источников бета-излучения на основе  $^{90}\text{Y}$  и  $^{144}\text{Ce}$  для васкулярной брахитерапии.

В докладе представлен обзор современного состояния производства радионуклидных источников медицинского назначения, функционирующего в ОАО «ГНЦ НИИАР». Приведены основные конструктивные параметры и характеристики источников медицинского назначения.

## **ЗАКРЫТЫЕ ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ И ПРОСТАТЫ**

Н.А. Нерозин<sup>1</sup>, Л.Я. Исакова<sup>1</sup>, В.В. Шаповалов<sup>1</sup>, Н.А. Ермолов<sup>1</sup>,  
Д.А.Подсобляев<sup>1</sup>, С.В. Хамьянов<sup>1</sup>, А.Ф. Бровкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «Государственный научный центр РФ – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ»), Обнинск,  
*nerozin@ipre.ru*

<sup>2</sup>ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования» Минздрава России, Офтальмологическая клиническая больница, Москва, *anab@list.ru*

Главным направлением современной ядерной медицины является развитие эффективных и безопасных методов применения радиоизотопов для лечения пациентов с онкологическими заболеваниями. Эти методы обеспечивают низкую дозу, целевое применение и минимальное поражение здоровых тканей за счет формирования дозного поля, локализованного в основном очаге поражения. К таким методам относится брахитерапия пациентов с онкологическими заболеваниями органов зрения и простаты с помощью медицинских изделий - закрытых источников ионизирующего излучения в форме офтальмоаппликаторов (ОА) и микроисточников (МИ) на основе радионуклида <sup>125</sup>I.

## **РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХРОМАТОГРАММ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ ПРЕПАРАТА МОЛИБДЕН-99**

И.В.Целищев, Л.С.Коновалова, Д.В. Юнусова, С.В.Грунин

*ОАО «ГНЦ НИИАР», Димитровград, orip@niiar.ru*

При паспортизации препарата молибден-99, выделенного из облученного в реакторе <sup>235</sup>U, необходимо определять радиохимическую чистоту (РХЧ) – долю <sup>99</sup>Mo в основной химической форме, которая должна составлять не менее 95 %. В соответствии с рекомендациями европейской фармакопеи РХЧ определяют методом тонкослойной хроматографии.

В ОАО «ГНЦ НИИАР» были исследованы такие радиационные методы измерения распределения <sup>99</sup>Mo по длине хроматограммы как гамма-спектрометрия и бета-радиометрия.

С помощью гамма-спектрометрии на основе Ge детектора определили, что распределение <sup>99</sup>Mo и его дочернего радионуклида <sup>99m</sup>Tc

очень близки. Это дает возможность использовать радиометрию (измерение суммарного излучения этих радионуклидов). Однако, гамма-спектрометрия или гамма-радиометрия не могут быть рекомендованы для использования в автоматической сканирующей установке из-за высокой проникающей способности гамма-квантов  $^{99}\text{Mo}$  с энергией 739,5 кэВ и возможного влияния излучения основного пика хроматограммы на результаты измерения соседних участков.

Результаты бета-измерений совпали с результатами гамма-спектрометрии в пределах погрешности (0,4 %). Бета-радиометрия по сравнению с гамма-спектрометрией показала себя более простым и более чувствительным методом. Измерение бета-излучения можно использовать при автоматическом сканировании хроматограммы из-за меньшего, чем в гамма-спектрометрии, влияния излучения соседних участков хроматограммы. Это позволит подтвердить значение РХЧ препарата на уровне, который получают при измерении отдельных отрезков (97-99 %).

### **ЦИКЛОТРОННЫЙ КОМПЛЕКС СС-18/9М ДЛЯ НАРАБОТКИ РАДИОИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РФП ДЛЯ ПЭТ ДИАГНОСТИКИ**

Ю.Н. Гавриш, О.Л. Вересов, А.В. Галчук, С.В. Григоренко, В.И. Григорьев, М.А. Емельянов, М.Л. Клопенков, А.Н. Кужлев, В.Г. Мудролюбов, Г.В. Муравьев, В.И. Никишкин, В.И. Пономаренко, Ю.И. Стогов, А.П. Строкач, С.С. Цыганков

ОАО «НИИЭФА», Санкт-Петербург, [npkluts@luts.niefa.spb.su](mailto:npkluts@luts.niefa.spb.su)

Циклотронный комплекс СС-18/9М разработан и поставлен в ОАО «НИИТФА», Москва, с целью создания пилотного центра по наработке радиоизотопной продукции и синтеза РФП в первую очередь для ПЭТ диагностики. В состав циклотронного комплекса входят модернизированный циклотрон СС-18/9М с системой транспортировки ускоренного протонного пучка к удаленным мишеням и мишенный комплекс.

Циклотрон является новой версией циклотронов СС-18/9, изготовленных ранее и поставленных в ПЭТ-центры Университета г. Турку (Финляндия), РНЦРХТ (пос. Песочный Ленинградской обл.), и РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск). Для расширения возможностей использования и повышения конкурентоспособности в циклотроне СС-18/9М обеспечено регулирование энергии ускоренных пучков протонов и дейтронов в диапазоне 12 – 18 и 6 – 9 МэВ соответственно. Одновременно

в полтора раза (по сравнению с базовой моделью) увеличен проектный ток протонов и дейтронов – до 150 и 70 мкА соответственно.

В новой версии циклотрона сохранена преемственность по основным техническим решениям, апробированным при создании циклотронов СС-189 и МСС-30/15.

Впервые в практике НИИЭФА циклотрон поставлен вместе с мишенным комплексом. В состав комплекса входят мишенная станция с системами форвакуумной откачки, водяного и гелиевого охлаждения, жидкостные (малого и большого объема) и газовые мишени, системы управления и заправки мишеней.

Мишенный комплекс позволяет в дальнейшем увеличить количество мишеней и ассортимент нарабатываемой радиоизотопной продукции, в том числе добавить каналы с твердотельными мишенями.

Данный циклотронный комплекс может быть рекомендован для оснащения центров ядерной медицины, создание сети которых предусмотрено программой развития ядерной медицины в Российской Федерации.

## **МИШЕНИ И МИШЕННЫЕ СТАНЦИИ ПО НАРАБОТКЕ РАДИОИЗОТОПНОЙ ПРОДУКЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ПЭТ ДИАГНОСТИКИ**

Ю.Н. Гавриш, П.А. Гнутов, М.Л. Клопенков, Р.М. Клопенков,  
А.Н. Кужлев, Г.В. Муравьев  
ОАО «НИИЭФА», Санкт-Петербург, *npkluts@luts.niiefa.spb.su*

Циклотроны серии СС производства НИИЭФА им. Д.В. Ефремова предназначены в первую очередь для наработки широкого спектра радиоизотопной продукции для получения диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов. В институте выполнен цикл работ по разработке и изготовлению мишеней и мишенных станций для получения радиоизотопов углерода-11, фтора-19, азота-13 и кислорода-15 с целью оснащения циклотронов производства НИИЭФА. В рамках выполнения данных работ разработаны газовые и водные мишени различной производительности, а так же системы автоматизированной смены мишени, что позволило оптимизировать состав систем транспортировки протонного пучка к удаленным мишеням. Кроме этого, разработаны и мишенные станции, работа которых полностью автоматизирована и позволяет контролировать процессы дистанционной заправки мишени исходным материалом, облучения ускоренным протонным пучком, а так же доставки наработанной активности до горячей камеры, где размещаются соответствующие модули синтеза.

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРИБОРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ

Д.С. Сысоев, В.В. Зайцев, Н.С. Алексеев

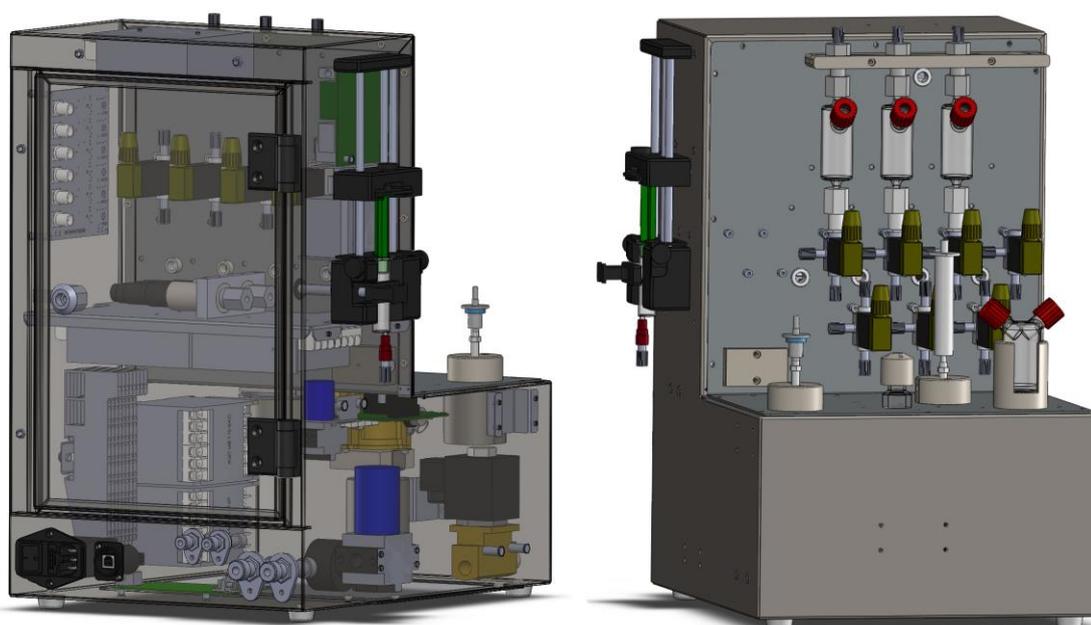
ФГБУ РНЦРХТ, Санкт-Петербург, [dssysoev@mail.ru](mailto:dssysoev@mail.ru), <http://gerat13.com>

Потенциал позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) в значительной степени определяется арсеналом доступных меченых соединений – радиофармпрепаратов (РФП). Для расширения диагностических возможностей ПЭТ-центров необходимы приборы для производства РФП, получаемых с помощью различных химических реакций и меченных различными радионуклидами.

Целью проекта являлось создание технологии, позволяющей производить широкий спектр приборов для радиофармацевтики (модулей синтеза, устройств для фасовки, инъекционных систем). Разработанная технология включает комплекс технических и организационных решений, обеспечивающих серийное производство приборов коммерческого уровня, отвечающих наиболее современным мировым стандартам.

По данной технологии разработаны и произведены: прибор для контролируемого разбавления и фасовки РФП (диспенсер); модуль синтеза РФП, меченных галлием-68.

В разработке, в высокой степени готовности, находятся приборы: модуль синтеза РФП, меченных йодом-123/йодом-124; модуль синтеза РФП, меченных фтором-18; инъекционная система для введения рубидия-82 из генератора. В ходе разработки приборов были получены патенты на изобретения и полезные модели.



# РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ СИНТЕЗА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИЗОТОПОВ F-18 и C-11

А.С.Союзов

ОАО НИИТФА, Москва, [assouzov@niitfa.ru](mailto:assouzov@niitfa.ru)

В настоящее время, общемировая потребность в поставке АМС РФП для ПЭТ - исследований почти полностью удовлетворяется ключевыми мировыми производителями. Отечественные разработки не имеют достаточного спроса и, как правило, не выходят за стены предприятий-изготовителей по разным причинам. В связи с этим, перспективной рассматривается идея кооперации российского производителя с одним или несколькими зарубежными компаниями-производителями АМС РФП.

ОАО «НИИТФА», наращивая свой собственный научный и производственный потенциал в области разработки АМС РФП, успешно сотрудничает с сербской компанией Elex Commerce d.o.o., перенимая опыт в вопросах разработки и изготовления приборов для производства наиболее распространенных и доступных радиофармацевтических препаратов, в т.ч. на основе изотопов углерод-11 и фтор-18.

В рамках проекта, совместными усилиями изготовлен прибор для синтеза радиофармпрепарата  $^{11}\text{C}$ -метионин.



Технические характеристики:

- время, необходимое для подготовки модуля синтеза к запуску:  $\leq 20$  мин.;
- времени, необходимого для всего синтеза:  $\leq 15$  мин.;
- время подготовки к последующему запуску:  $\leq 1$  ч.;
- максимальное давление инертных газов в системе: 2 бар.;
- точность регулирования температуры:  $\pm 2$  °С.;
- используемые материалы: (РЕЕК), (ПТФЭ), кварцевое, боросиликатное стекло, поли-этилена (PE), полипропилена (PP).;
- интерфейс на русском языке.

Качество продукта удовлетворяет требованиям:

- выход:  $\geq 35\%$  (рассчитывается в конце облучения мишени)
- радиохимическая чистота:  $\geq 95\%$
- радионуклидная чистота:  $\geq 99\%$ .

На завершающих стадиях разработки находится прибор для синтеза препарат  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкоза.



Технические характеристики:

- время, необходимое для подготовки модуль синтеза к запуску:  $\leq 20$  мин.;
- времени, необходимого для всего синтеза:  $\leq 30$  мин.
- время подготовки к последующему запуску:  $\leq 1$  ч.
- максимальное давление инертных газов в системе: 2 бар.
- точность регулирования температуры:  $\pm 2$  °С.
- материалов, разрешенных для контакта с продуктом: (PEEK), (ПТФЭ), боросиликатное стекло, полиэтилена (PE), полипропилена (PP), поликарбонат (PC).
- интерфейс на русском языке

Качество продукта удовлетворяет требованиям:

- выход:  $\geq 65\%$  (рассчитывается в конце облучения мишени)
- радиохимическая чистота:  $\geq 98\%$
- радионуклидная чистота:  $\geq 99\%$ .

## **ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАРАБОТКИ РАДИОИЗОТОПА $^{177}\text{Lu}$ НА РЕАКТОРЕ ИВВ-2М**

А. В. Козлов, А.А. Джанелидзе, С.Б. Злоказов,  
Н.А. Котельников, И.М. Русских, Е.Н. Селезнев.

ОАО «Институт реакторных материалов», Заречный, [irm@irmatom.ru](mailto:irm@irmatom.ru)

Пептидорцепторная радиотерапия при лечении нейроэндокринных опухолей с метастазами обеспечивает хорошие клинические и радиобиологические результаты с минимальными побочными эффектами. Схожие по структуре с соматостатином пептиды меченые радиоизотопами позволяют высоко избирательно воздействовать на клетки опухоли. Основное преимущество  $^{177}\text{Lu}$  в сравнении с ранее используемыми радионуклидами связано со значительно меньшим токсическим воздействием на почки и костный мозг. При распаде  $^{177}\text{Lu}$  наряду с  $\beta$ -излучением испускаются  $\gamma$ -кванты с энергиями около 113 кэВ и 208 кэВ, что обеспечивает возможность визуализации биологического распределения радионуклида и позволяет осуществлять корректный расчёт

доз облучения органов и тканей. Относительно низкая энергия  $\beta$ -излучения и, соответственно, невысокая проникающая способность в мягких тканях обеспечивают преимущества  $^{177}\text{Lu}$  в терапии опухолей небольшого размера.

Для наработки  $^{177}\text{Lu}$  в ОАО «ИРМ» используется активационный метод, при котором производится облучение тепловыми нейтронами лютеция обогащенного по изотопу  $^{176}\text{Lu}$  до уровня не менее 80 %.

Выполнены экспериментальные исследования в реакторе и отработана расчетная модель, обеспечивающая хорошую сходимость по накоплению  $^{177}\text{Lu}$  с экспериментальными данными.

Оптимизирована активная зона реактора ИВВ-2М, сформированы ячейки, нейтронно-физические параметры которых оптимально подходят для наработки  $^{177}\text{Lu}$ .

Проведено нейтронно-физическое обоснование и разработана конструкция специального канала для облучения мишеней с лютецием, позволяющая до двух раз увеличить производительность ячейки активной зоны реактора по наработке  $^{177}\text{Lu}$  и существенно упростить логистику организации реакторных облучений.

Отработаны режимы облучений лютеция, обеспечивающие возможность проведения непрерывных поставок  $^{177}\text{Lu}$ , исключая только периоды длительных остановов реактора на плановое техническое обслуживание.

В результате выполненной работы на реакторе ИВВ-2М обеспечена технологическая возможность регулярного производства  $^{177}\text{Lu}$  с удельной активностью не менее 1000 ГБк на грамм стартового лютеция.

## **ЦЕЗИЙ-131 ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ**

Е.В.Толстикова, С.Б. Злоказов, А.А. Джанелидзе, А.В. Коренкова, Е.И. Злоказова

ОАО «Институт реакторных материалов», Заречный, [rtd@inm-rosatom.ru](mailto:rtd@inm-rosatom.ru)

Внутриклеточная брахитерапия с успехом применяется для терапии злокачественных заболеваний простаты и молочных желез. В качестве источников излучения, имплантируемых в опухоль, используются изотопы йода  $^{125}\text{I}$  и палладия  $^{103}\text{Pd}$ . В последние годы этот перечень пополнился радиоизотопом цезий-131.  $^{131}\text{Cs}$  распадается путем электронного захвата с периодом полураспада 9,69 суток, испуская характеристическое фотонное излучение в рентгеновской области 29,5 – 33,6 кэВ. Оптимальное сочетание периода полураспада и энергии излучения делают  $^{131}\text{Cs}$  перспективным радиоизотопом для брахитерапии злокачественных заболеваний. Введение его в клиническую практику рассматривается как

одно из наиболее значимых достижений в брахитерапии за последние 20 лет. За счет меньшего периода полураспада  $^{131}\text{Cs}$  обеспечивает более высокую скорость доставки биологически активной дозы в ткань и в отличие от  $^{125}\text{I}$  может быть использован для терапии не только медленно растущих опухолей. В качестве монотерапии  $^{131}\text{Cs}$  успешно используется для лечения злокачественных заболеваний простаты, гинекологических органов и меланомы сетчатки глаза. Кроме того  $^{131}\text{Cs}$  используется в качестве адъювантной лучевой терапии при лечении немелкоклеточного рака легкого, внутричерепных опухолей (включая менингиомы), а также после хирургической резекции злокачественных опухолей головы и шеи.

Помимо микроисточников и аппликаторов в медицинскую практику внедрены брахитерапевтические источники объёмного типа Cesitrex содержащие раствор  $^{131}\text{CsCl}$  для временной имплантации после хирургического удаления глиом (радиационная терапевтическая система Gliasite).

Для удовлетворения растущих требований рынка в ОАО «ИРМ» организовано производство  $^{131}\text{Cs}$  с радиохимической чистотой 99,993-99,999 %. Способ получения  $^{131}\text{Cs}$  основан на облучении  $^{130}\text{Ba}$  тепловыми нейтронами в реакторе  $^{130}\text{Ba}(n,\gamma)^{131}\text{Ba}$ . Последующий распад  $^{131}\text{Ba}$  ( $T_{1/2} = 11,8$  сут.) приводит к образованию  $^{131}\text{Cs}$ . В качестве сырья для облучения используется барий с природным содержанием изотопов. Производственные возможности обеспечивают возможность поставок до 100 Ки  $^{131}\text{Cs}$  в неделю. Характерной особенностью технологии является очистка  $^{131}\text{Cs}$  от ключевой примеси  $^{132}\text{Cs}$ . ОАО «ИРМ» на регулярной основе осуществляет поставки  $^{131}\text{Cs}$  в США.

## **РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРЕПАРАТА ЙОД-131**

И.В.Целищев, Д.Г.Рыбин, Т.В.Прядко

ОАО «ГНЦ НИИАР», Димитровград, *orip@niiar.ru*

При паспортизации препарата йод-131, выделенного из облученного в реакторе диоксида теллура, в ОАО «ГНЦ НИИАР» используют радиационные методы для определения радиохимической и радионуклидной чистоты.

Радиохимическую чистоту, которая должна составлять не менее 95 %, определяют методом восходящей бумажной хроматографии. Для измерения распределения активности  $^{131}\text{I}$  по длине хроматограммы используют сканирующий бета-спектрометр с детектором на основе сцинтиллирующей пластмассы. Выбранные условия измерения сводят к минимуму влияние излучения соседних участков хроматограммы и

позволяют определять радиохимическую чистоту препарата до уровня 99,98 %.

Радионуклидную чистоту, которая должна составлять не менее 99,9 %, измеряют на гамма-спектрометре с детектором из особо чистого германия. При паспортизации препарата содержание примесей оценивают по пределам их обнаружения, отношение суммы которых к активности  $^{131}\text{I}$  составляет не более 0,03 %. Для более точного определения радионуклидной чистоты пробу препарата с исходной активностью около 1 Ки выдерживают в течение 6-7 месяцев для уменьшения количества  $^{131}\text{I}$  в  $10^6$ - $10^7$  раз. Относительное содержание наиболее характерных примесных радионуклидов ( $^{123\text{m}}\text{Te}$  и  $^{75}\text{Se}$ ), измеренное в выдержанной пробе и пересчитанное на момент отправки препарата заказчику, составляет около  $2 \cdot 10^{-6}$  %.

# **(3) РАДИАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

**ФИЛИАЛ ОАО «НИФХИ им. Л.Я. КАРПОВА» -  
ЦЕНТР РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В.А. Гремячкин

Филиал ОАО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», Обнинск,  
[fci@karpovIPC.ru](mailto:fci@karpovIPC.ru)

Филиал ОАО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», созданный в 1959 году, стал научным центром страны в области радиационной химии и радиационно-химических технологий. Главной его задачей было и остается исследование взаимодействия ядерных, ионизирующих излучений с веществами и материалами и практическое применение результатов исследований в промышленности.

На базе собственных разработок в последние годы организовано и успешно работает производство материалов и изделий:

- радионуклиды медицинского назначения;
- радиофармацевтические препараты и изделия медицинской техники для диагностики и терапии различных заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых и онкозаболеваний;
- ядерно-легированные и радиационно-модифицированные полупроводниковые материалы (кремний, арсенид галлия и др.) для электронной промышленности;
- полимерные фильтрующие элементы с наноструктурами серебра с противовирусными и антимикробными свойствами для очистки воды;
- композиционные материалы на основе вспененного полиэтилена для обеспечения тепло- и звукоизоляции;
- термоусаживаемая изоляционная лента для магистральных трубопроводов;
- акриловые дисперсии.

Оказываются услуги по радиационному модифицированию (ускорители электронов и гамма-установки) полимерных материалов, главным образом полиолефинов; радиационной стерилизации медицинских изделий и др.

В кооперации с предприятиями Госкорпорации «Росатом» создается Пилотный центр облучения для обработки продукции медицинского и технического назначения на основе стерилизационного ускорителя электронов с энергией до 10 МэВ.

### **ФГУП «НПП «ТОРИЙ» - РАЗРАБОТЧИК И ИЗГОТОВИТЕЛЬ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДЕФЕКТОСКОПИИ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Акимов П.В., Грызлов А.В., А.В., Мельничук Г.В., Сигалаев В.Н., Назаров В.С., Невский П.В., Фрейдович И.А. Чудин В.Г., Шведун В.И.\*,  
Симонов А.С.\*

ФГУП «НПП «Торий»  
\* ООО «ЛЭУ МГУ»

Излагаются итоги и достижения по созданию и выпуску линейных ускорителей электронов на бегущей волне с питанием от мощных импульсных магнетронов.

Рассматриваются характеристики и конструктивные особенности выпускаемых и разрабатываемых линейных ускорителей электронов на стоячей волне с питанием от мощных импульсных клистронов.

### **ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСКОРИТЕЛИ ИЛУ В СОВРЕМЕННЫХ РАДИАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ**

В.Безуглов, А.Брызгин, А.Власов, Л.Воронин, В.Горбунов, Е.Кокин, М.Коробейников, А.Лукин, И.Макаров, В.Нехаев, С.Максимов, А.Панфилов, В.Радченко, Е.Штарклев, А.Сидоров, В.Тарнецкий, В.Ткаченко, Б.Факторович, К.Чернов.

Институт Ядерной Физики СОРАН, Новосибирск, *A.A.Bryazgin@inp.nsk.su*

Импульсные ВЧ ускорители электронов типа ИЛУ разработаны и производятся в Институте Ядерной Физики. В докладе приведены параметры линейки ускорителей, их принцип действия и особенности. Ускорители работают, как и в промышленности, так и для разработки новых радиационных технологий. Для линий по стерилизации

медицинских изделий ускорители ИЛУ работают совместно с конвейером, разработанным в НИИТФА. В докладе отражены новые и перспективные радиационные комплексы для реальных промышленных предприятий и исследовательских учреждений. Благодаря высокой энергии и большой мощности ускорители ИЛУ снабжаются легко устанавливаемым конвертером тормозного излучения.

## УСКОРИТЕЛИ ЭЛВ

Н.К. Куксанов, Р.А. Салимов, П.И. Немытов, С.Н. Фадеев, Е.В. Домаров,  
Д.А. Когут, А.И. Корчагин, А.В. Семенов

Институт Ядерной Физики им. Будкера Сибирского Отделения  
Российской Академии Наук, Новосибирск, [kuksanov47@mail.ru](mailto:kuksanov47@mail.ru)

Ускорители ЭЛВ разработаны в Институте Ядерной Физики им. Будкера Сибирского отделения Российской Академии Наук и занимают отдельное место в спектре оборудования выпускаемого институтом. Эти машины широко применяются для радиационной модификации полимеров и хорошо зарекомендовали в разнообразных технологических процессах. Они хорошо известны по всему миру. Они работают от Германии на западе до Филиппин и Малайзии на востоке. Ускорители ЭЛВ перекрывают диапазон по энергии пучка ускоренных электронов от 0.4 до 2.5 МэВ. Максимальная мощность электронного пучка ускорителей общего назначения составляет 100 кВт. Существует модификация ускорителя для экологических применений с мощностью выведенного пучка – 400 кВт. Более 150 ускорителей поставлено как внутри России (СССР), так и за рубежом. Именно высокие потребительские свойства ускорителей ЭЛВ позволили ИЯФ СО РАН занять ведущие позиции на рынке промышленных ускорителей, как в России, так и за рубежом.

Ускорители ЭЛВ могут быть укомплектованы устройствами, расширяющими технологические возможности, как-то: система двух и четырех стороннего облучения, система кольцевого облучения, подпучковая транспортная система. Электронный пучок на ускорителях ЭЛВ обычно выводится в атмосферу через окно из титановой фольги, но ускорители ЭЛВ также могут быть оборудованы устройством для вывода в атмосферу сфокусированного электронного пучка. Это позволяет реализовать совершенно новый класс технологий с использованием высокой плотности мощности электронного пучка при атмосферном давлении.

Дальнейшее развитие ускорителей ЭЛВ происходит в сторону низких энергий выведенного пучка и устройств с локальной радиационной

защитой. Эти машины используют унифицированные элементы ЭЛВ и существенно расширяют область применений ускорителей ЭЛВ.

### **ФГУП «НПП «ТОРИЙ» - РАЗРАБОТЧИК И ИЗГОТОВИТЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ СВЧ СИГНАЛА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ ЧАСТИЦ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

П.В. Акимов, А.В. Грызлов, Г.В. Мельничук, В.Н. Сигалаев, П.В. Невский,  
И.А. Фрейдович, В.Г. Чудин, В.И. Шведунов \*

ФГУП «НПП «Торий»,  
\* ООО «ЛЭУ МГУ»

Рассмотрены характеристики и применение сверхмощных предельно-волноводных магнетронов и многолучевых клистронов, разработанных и выпускаемых ФГУП «НПП «Торий», и предназначенных для систем СВЧ питания ускорителей частиц.

Определены наиболее перспективные направления развития источников СВЧ сигнала для ускорителей, а именно:

- малогабаритные низковольтные пакетированные многолучевые клистроны 5-см (X) диапазона для малогабаритных мобильных ускорителей электронов, применяемых в дефектоскопии, инспекционно-досмотровых комплексах, радиотерапии и стерилизации.

- высоковольтные многолучевые клистроны 10-см (S) диапазона со средней мощностью 60-120 кВт, предназначенные для питания ускорителей электронов и протонов, применяемых в радиотерапии, стерилизации и радиационных технологиях различных направлений.

Рассмотрены конструкция и характеристики предлагаемых приборов.

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ И РАДИОХИМИЧЕСКОЕ  
НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
PT, PD, RE, IR, AU И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ**

В. Г. Зиновьев, А. И. Егоров, И. А. Митропольский, Г. И. Шуляк,  
П. А. Сушков, Т. М. Тюкавина, И. С. Окунев

"Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова"  
Национального исследовательского центра "Курчатовский институт"  
Гатчина, [pitzinovjev@yandex.ru](mailto:pitzinovjev@yandex.ru)

Разработаны методики инструментального и радиохимического нейтронно-активационного определения Pt, Au, Ir, Re, Pd и редкоземельных элементов в геологических образцах, отобранных в районе Карской астроблемы, Ямало-Ненецкий автономный округ Россия. В работе была использована катионообменная хроматографическая система С100 – HCl для отделения Au, Pt и других элементов платиновой группы от Ca, Sc, Fe и других неблагородных металлов. Установлено, что катионообменная хроматографическая система С100 в H<sup>+</sup>-форме – 0,2 М HCl при скорости элюирования 0,5-1 мл/мин является наиболее селективной в данном случае.

Установлено, что коэффициент распределения для золота слабо зависит от концентрации соляной кислоты. Коэффициент  $D$  для Au равен 2 при 0.2 М HCl и увеличивается до 4 при 8 М HCl. Коэффициент распределения платины изменяется от 0.5 до 2 при изменении концентрации соляной кислоты от 0.2 М до 8 М соответственно. При этом факторы очистки для хроматографической системы Purolite С100 в H<sup>+</sup>-форме – 0.2 М HCl для Sc, Fe, Ca, Cs составили 360, 250, 1000, 700.

Комбинация инструментальной и радиохимической методик нейтронно-активационного анализа позволила определить в образцах содержание 31 элемента с пределами обнаружения на уровне  $n \cdot 10^{-4}$  –  $n \cdot 10^{-9}$  % масс.

# **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Ю.Н. Хакимуллин, Р.Ю. Галимзянова, М.С. Лисаневич

Казанский Национальный Исследовательский Технологический  
Университет, Казань

В настоящее время наблюдается тенденция по существенному увеличению объемов производства и расширению областей применения нетканых материалов (НМ), которые используются практически во всех областях жизнедеятельности человека. Такие свойства НМ, как гидрофильность или гидрофобность, воздухопроницаемость, хорошие барьерные и прочностные показатели при относительной дешевизне позволяют эффективно использовать их для медицинских целей.

Как правило, медицинские изделия из НМ подвергаются стерилизации. В настоящее время радиационным методом стерилизуется более 50% медицинских изделий одноразового пользования. Стерилизующим агентом при радиационной стерилизации является проникающее гамма-излучение или ускоренные электроны, оказывающие наряду со стерилизующим эффектом различное влияние на свойства нетканого материала. Электронно-лучевое излучение не предполагает глубинного проникновения в толщу продукта, как это делает гамма-излучение, и соответственно, при стерилизации действие электронно-лучевого излучения ограничивается несколькими секундами, в отличие от многочасового воздействия на продукт гамма-излучением.

При проведении радиационной стерилизации определяют диапазон доз, при которых будет обеспечена стерильность изделий. Как правило, данный диапазон находится в интервале  $20 \pm 3$  кГр до  $40 \pm 5$  кГр.

Изучалось влияние поглощенной дозы при радиационной стерилизации и вида ионизирующего излучения на свойства НМ различных конструкций: полученного по технологии спанлейс, по технологии спанбонд-мельтблаун-спанбонд и ламинированного нетканого материала.

В результате проведенных исследований изучено влияние ионизирующего излучения на свойства НМ, для каждого типа НМ выбраны показатели характеризующие его стойкость к воздействию радиации.

На основании полученных результатов, для НМ можно рекомендовать стерилизацию ускоренными электронами, как более щадящий вид радиационной стерилизации.

## **РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПРОДУКТОВ ЖИВОТНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЦЕЛЯХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Санжарова Н.И, Павлов А.Н., Пименов Е.П., Козьмин Г.В., Кобялко В.О., Саруханов В.Я.

Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Российской академии сельскохозяйственных наук, Обнинск, [49434@mail.ru](mailto:49434@mail.ru)

Исследованы показатели радиочувствительности микроорганизмов, присутствующих в специях и свежих овощах, в диапазоне доз облучения от 30 Гр до 10 кГр, а так же показатели микробиологической безопасности сенсорных и физико-химических свойств рыбных пресервов в течение 3 месяцев после радиационной обработки в дозах от 0,5 до 6 кГр.

В специях исходное количество мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) варьировало от 0 до 108 на грамм; бактерий группы кишечной палочки (БГКП) - от 0 до 106; дрожжей и плесневых грибов - от 0 до 107.. Установлено, что LD50 БГКП, дрожжей, плесневых грибов и КМАФАнМ находится в диапазоне доз от 0.5 до 1 кГр. Полная гибель БГКП происходит при дозе в 2 кГр, дрожжей - 5, плесневых грибов - 7, КМАФАнМ - 10.

Для пресервов показано дозозависимое подавление всей микрофлоры сразу после облучения, с максимальным эффектом при дозе 6,0 кГр и его сохранением в течение срока хранения (3 месяца) для всех изученных микроорганизмов, за исключением дрожжей, количество которых возросло. Сенсорные и физико-химические показатели не выявили отклонений продукта от нормы.

Применение ионизирующего облучения в дозе 2 кГр снижает обсеменённость свежих овощей (болгарский перец, морковь) с 108-107 КОЕ на грамм продукта до 104 и даже единичных клеток. Применение радиационной технологии не ухудшает качество продукции - в облученном зеленом перце сохраняется исходное содержание хлорофиллов; в моркови практически сохраняется исходное содержание каротиноидов.

Исследования показали, что применение радиационной технологии увеличивает сроки хранения различных видов продукции.

## РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА СУСПЕНЗИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С.<sup>1</sup>, Филиппович В.П.,  
Прокопенко А.В.<sup>2</sup>

ВНИИ Технологии консервирования, Видное, *vit\_fill@rambler.ru*

<sup>1</sup>Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

В последние десятилетие в России возобновился интерес к электронно-лучевой технологии стерилизации. Облучение продукции электронным пучком происходит при энергии электронов, находящихся в диапазоне от 3 до 10 МэВ и дозами до 30 кГр. Особый интерес для исследования представляет изучение возможности уменьшения энергии электронов и дозовых характеристик при облучении пищевых продуктов. В качестве типичного объекта исследований использовались водные суспензии с типичными микроорганизмами *E coli* и *Staphylococcus aureus*.

Исследования выполнялись на промышленном электронном ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70, который находится в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской Академии Наук (ИФХЭРАН). Запаянные ампулы с суспензией микроорганизмов объемом 10 мл устанавливались на конвейере ускорителя в вертикальном и горизонтальном положении и облучались дозами 3 кГр, 5 кГр, 7 кГр и 10 кГр. Микробиологические исследования 54 ампул проводились по ГОСТ 30726-2011 и ГОСТ 10444.2-94 методом наиболее вероятного числа колониеобразующих единиц.

В результате исследований определена радиоустойчивость  $D_{10}$  микроорганизмов, что позволяет оценивать содержание данных микроорганизмов при облучении продуктов питания, осеменённых данными культурами. Установлено, что горизонтальное положение ампул более эффективно чем вертикальное. Выполнено сравнение результатов радиоустойчивости  $D_{10}$  микроорганизмов, полученных при облучении на ускорителе электронов с ранее полученными результатами при облучении на гамма-установке.

## РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

А.В. Градобоев

Юргинский технологический институт Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых  
приборов», Томск, *gradoboev1@mail.ru*

Радиационные технологии широко используются при производстве различных изделий электронной техники. Прежде всего, следует отметить ядерное легирование, используемое при производстве достаточно больших по объему монокристаллических слитков полупроводниковых материалов с высокой однородностью легирования. Ионная имплантация, в свою очередь, эффективно используется для получения приборных структур.

Но практика показала, что радиационные технологии обладают целым рядом других возможностей при их использовании в технологии производства различных полупроводниковых приборов. В частности они позволяют целенаправленно изменять параметры полупроводниковых приборов, снижать технологический брак, улучшать приборные и эксплуатационные характеристики и т.д.

Целью данной работы является демонстрация возможностей радиационных технологий на примере производства диодов с барьером Шоттки (ДБШ), полевых транзисторов Шоттки (ПТШ), диодов Ганна (ДГ) и светодиодов (СД).

На примере ДБШ показана эффективность применения радиационных технологий для целенаправленного изменения его приборных характеристики. На примере ПТШ показана возможность улучшения приборных характеристик.

На примере ДГ показано, что радиационные технологии позволяют:

- повысить эффективность производства за счет снижения технологического брака;
- улучшить приборные характеристики;
- целенаправленно повысить стойкость к воздействию ионизирующего излучения.

На примере СД показана эффективность применения радиационных технологий для повышения их стойкости к последующему воздействию ионизирующего излучения, а также возможность снижения технологического брака.

Таким образом, продемонстрированы широкие возможности использования радиационных технологий в производстве различных полупроводниковых приборов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ «ЭФФЕКТА ПАМЯТИ» РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

А.В. Градобоев

Юргинский технологический институт Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых  
приборов», Томск, *gradoboev1@mail.ru*

Ионизирующее излучение и факторы длительной эксплуатации приводят к введению дефектов в активные слои полупроводниковых приборов и деградации их выходных характеристик. С другой стороны, факторы длительной наработки могут приводить к полному или частичному отжигу дефектов, появившихся вследствие действия ионизирующего излучения. Тогда, если предварительно приборы подвергнуть действию ионизирующего излучения, а затем действию факторов длительной наработки, то мы получим полное или частичное восстановление параметров приборов.

Если теперь, полученные таким образом приборы, подвергнуть радиационному воздействию вновь, то их поведение должно отличаться от того, которое наблюдается для исходных приборов, без какой-либо предварительной обработки. Тогда различие в поведении приборов может быть названо «эффектом памяти».

Целью данной работы является исследование «эффекта памяти» в диодах Ганна (далее ДГ) 3-см диапазона при облучении быстрыми нейтронами и светодиодах ИК-диапазона (далее СД) при облучении гамма-квантами.

Представленные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Впервые сформулирована гипотеза о возможности существования «эффекта памяти» радиационного воздействия в полупроводниковых материалах и приборах.
2. Впервые экспериментально доказано существование «эффекта памяти» при облучении быстрыми нейтронами в ДГ 3-см диапазона и СД ИК-диапазона.
3. «Эффект памяти» приводит к росту стойкости ДГ и СД при последующем облучении.
4. Учет «эффекта памяти» позволяет повысить достоверность прогнозирования работы ДГ и СД в условиях комплексного (одновременного) и комбинированного (разнесенного во времени) действия факторов длительной наработки и флюенса быстрых нейтронов.

5. Практическое применение «эффекта памяти» позволяет улучшить эксплуатационные характеристики диодов Ганна на основе эпитаксиального n-GaAs и СД на основе гетероструктур AlGaAs.

## **ПРОИЗВОДСТВО СТЕРИЛЬНОЙ АКТИВНОЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СУБСТАНЦИИ СТРОНЦИЯ-82**

Е.Г. Кузьмина<sup>1</sup>, Д.В. Степченков<sup>2</sup>, А.А.Семенова<sup>2</sup>,  
С.В. Хамьянов<sup>2</sup>, Н.А.Нерозин<sup>2</sup>

1- ФГБУ Медицинский радиологический научный центр Минздрава  
России, Обнинск

2- ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт, Обнинск

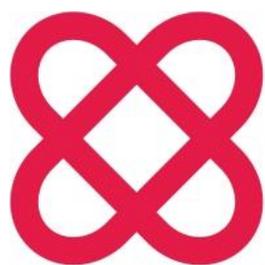
Разработан технологический процесс производства стерильного препарата стронция-82, полученного после радиохимической переработки облученной мишени из металлического рубидия с использованием стерилизующей фильтрации.

Проведены предварительные испытания на стерильность нерадиоактивного раствора стронция хлорида с введением стандартной культуры *E. coli* до и после стерилизующей фильтрации.

По результатам микробиологических фармакопейных тестов на стерильность установлено, что технологический процесс обеспечивает производство стерильной АФС Sr-82.

По результатам фармакопейного анализа установлено, что технологический процесс и установка обеспечивают производство стерильной АФС  $^{82}\text{Sr}$  и могут быть рекомендованы для производства  $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$  генераторов.

Партнер конференции



**ЮНИКС**

Интегрированные решения  
для медицины

Генеральный  
информационный партнер

**Nuclear.Ru**

# Информационные партнеры

РОССИЯ  СЕГОДНЯ



РАДИАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

**НАУКА И ЖИЗНЬ**



РОССИЙСКОЕ  
АТОМНОЕ  
СООБЩЕСТВО

**БЕЗОПАСНОСТЬ**  
ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



NUCLEAR AND  
ENVIRONMENTAL  
**SAFETY**



МЕДИЦИНСКИЙ  
**БИЗНЕС**  
МЕДТЕХНИКА

**КТО** *есть* **ОТН**  
Who is Who  
В М С А И Ц И И С



МЕД-инфо



Energy  
Expert  
Centre

Центр  
Энергетической  
Экспертизы