

ТЕЗИСЫ
ДОКЛАДОВ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ПРОИЗВОДСТВО
АЛЬФА-ЭМИТТЕРОВ
И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ РФЛП
НА ИХ ОСНОВЕ**

**22
НОЯБРЯ
2019 ГОДА**



г. Обнинск,
Россия

Уважаемые участники семинара!

Это второй из серии семинаров, организованных АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» и посвященных наиболее перспективным для ядерной медицины альфа-излучающим изотопам. Цель таких семинаров, участниками которых являются не только исследователи и производители медицинских изделий и препаратов, но и их потребители — практикующие врачи в области ядерной медицины, заключается в том, чтобы показать, насколько перспективны рассматриваемые изотопы, и насколько будут востребованы в клинической практике препараты на их основе.

Ядерная медицина сегодня является стратегическим направлением здравоохранения. Во всем мире она — область государственного интереса и государственных приоритетов, ее развитие позволяет радикально улучшить качество медицинской помощи огромному количеству больных, нуждающихся в терапии онкологических и других заболеваний.

Альфа-излучающие нуклиды рассматриваются в качестве перспективных радиоизотопов для создания терапевтических РФП в ядерной медицине благодаря высокому биологическому эффекту своего излучения. Будучи доставленными к клеткам злокачественных опухолевых новообразований с использованием различных носителей, они оказывают гораздо большее повреждающее действие при значительно меньшей дозе облучения здоровых тканей по сравнению со стандартными бета- и гамма-излучателями.

Признание уникальных свойств радиофармпрепаратов на основе альфа-излучающих радионуклидов способствовало росту интереса к исследованиям в этой области. Во всем мире, в том числе и в России, ведутся работы по изучению свойств потенциальных РФП на основе альфа-эмиттеров и разработке технологий их получения.

Принимая во внимание необходимость обсуждения накопленного опыта и широкого информирования профессионального экспертного сообщества о разработках российских ученых и специалистов, Госкорпорация «Росатом» приняла решение об организации семинара, посвященного вопросам производства альфа-эмиттеров в РФ и создания РФЛП на их основе.

Организаторы семинара надеются, что обмен накопленным опытом окажет существенную помощь специалистам, работающим в области создания РФЛП на основе альфа-излучающих радионуклидов, в решении стоящих перед ними практических задач и в целом послужит делу развития ядерной медицины в России.

Учредители семинара:

- Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
- АО «Государственный научный центр Российской Федерации — Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Тематика семинара:

- разработка технологий получения альфа-излучающих радиофармпрепаратов;
- обеспечение контроля качества при производстве альфа-излучающих радиофармпрепаратов для ядерной медицины;
- применение РФЛП на основе альфа-эмиттеров в ядерной медицине и научных исследованиях;
- конкурентные преимущества РФЛП на основе альфа-эмиттеров.

Организации – участники семинара

- АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»
- АО «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов»
- АО «Наука и инновации»
- АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина»
- АО «Всерегиональное объединение «Изотоп»
- АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»
- Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН
- Институт ядерных исследований РАН
- Канадская национальная лаборатория TRIUMF
- Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), Секция радиоизотопных продуктов и радиационной технологии
- ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина»
- Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф.Цыба — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России
- Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
- Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
- Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
- ООО «НТЦ Амплитуда»
- РНЦРХТ им. акад. А.М. Гранова Минздрава России
- ФГУП ПО «Маяк»
- ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России
- Объединенный институт ядерных исследований
- ЗАО «СП Изофлекс»

ПРОГРАММА СЕМИНАРА

09:00 – 09:30 Регистрация участников

09:30 – 09:40 Открытие семинара

Вступительное слово:

Говердовский А. А. Генеральный директор АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»

Часть I. Современное состояние производства альфа-эмиттеров в России и за рубежом

Председатель: Нерозин Н. А., АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»

09:40 – 10:00 **Старовойтова В. Н.** Роль МАГАТЭ в развитии производства и применений альфа-эмиттеров. (с. 5)
МАГАТЭ, Вена, Австрия (с. 5)

10:00 – 10:20 **Вальздорф О.Ю.** Медицинские изделия на основе альфа-эмиттеров.
АО «В/О «Изотоп», Москва (с. 7)

10:20 – 10:40 **Завестовская И. Н.** Перспективные направления ядерной наномедицины.
НИЯУ МИФИ, ФИАН, Москва (с. 8)

10:40 – 11:00 **Артамонов С. А.** Альфа-эмиттеры для ядерной медицины. Обзор материалов международных мероприятий по направленной альфа-терапии.
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ, Обнинск (с. 10)

11:00 – 11:30 **Перерыв. Кофе брейк**

11:30 – 11:50 **Буткалюк П. С.** Получение препаратов на основе ^{223}Ra , ^{227}Th и ^{225}Ac в АО «ГНЦ НИИАР».
АО «ГНЦ НИИАР», Димитровград (с. 12)

11:50 – 12:10 **Ермолаев С. В.** Получение ^{225}Ac облучением мишеней из металлического тория протонами средних энергий.
ИЯИ РАН, Троицк (с. 14)

12:10 – 12:30 **Радченко В. И.** Текущий статус и перспективы наработки ^{225}Ac в Канадской национальной лаборатории ядерной физики и физики элементарных частиц.
TRIUMF, Ванкувер, Канада (с. 16)

12:30 – 12:50 **Крылов В.В.** Радия хлорид [^{223}Ra] в лечении больных раком предстательной железы с метастазами в кости.
МНРЦ имени А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ РФ, Обнинск

12:50 – 14:00 **ОБЕД**

**Часть II. Технические аспекты производства альфа-эмиттеров:
проблемы, пути решения, идеи
Председатель: Самсонов М. Д., АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»**

- 14.00 – 14.20 **Хрячков В. А.** Текущий статус и перспективы наработки ^{225}Ac фотоядерным способом в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ». *АО «ГНЦ РФ – ФЭИ, Обнинск* (с. 18)
- 14:20 – 14:40 **Костылев А. И.** Альфа-эмиттеры в исторических ампулах с облученным радием-226. Зарубежный и отечественный опыт. *АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург* (с. 20)
- 14:40 – 15:00 **Коков К. В.** Создание и исследование препарата для радионуклидной терапии нейроэндокринных опухолей: синтез, устойчивость в физиологических средах и цитотоксичность. *НИЦ «Курчатовский институт», Москва* (с. 22)
- 15.00 – 15.20 **Куприянов А. С.** Особенности альфа-спектрометрического измерения активности изотопов радия, актиния и тория. *АО «ГНЦ НИИАР», Димитровград* (с. 24)
- 15:20 – 15:40 **Перерыв. Кофе брейк**
- 15:40 – 16:00 **Моисеева А. Н.** Новый метод производства медицинского альфа-эмиттера ^{149}Tb . *НИЦ «Курчатовский институт», Москва* (с. 26)
- 16:00 – 16:20 **Аксенов Н. В.** Получение новых ядерных данных для наработки медицинских радионуклидов в ЛЯР. *Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова, ОИЯИ, Дубна* (с. 28)
- 16:20 – 16:40 Информация о стендовых докладах.

Часть III. Круглый стол. Обсуждение результатов семинара, подведение итогов.

Стендовые доклады:

1. *In vivo* генератор $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$ на основе углеродных наноматериалов для терапии онкологических заболеваний.
Яковлев Р. Ю.
ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН, Москва
2. Контроль качества Ac-225.
Болонкин А. С.
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», Обнинск

Роль МАГАТЭ в развитии производства и применения альфа-эмиттеров

Старовойтова В. Н., Джалилиан А., Оссо Ж. А., Корде А.

МАГАТЭ, Вена, Австрия
v.starovoitova@iaea.org

Одна из задач секции Радиоизотопной продукции и радиационной технологии Департамента ядерных наук и применений МАГАТЭ заключается в оказании государствам — членам МАГАТЭ помощи в развитии производства и использования радиоизотопов и радиофармацевтических препаратов посредством проведения технических совещаний, семинаров, публикаций и проектов МАГАТЭ по техническому сотрудничеству. Наша секция занимается различными радиоизотопами в зависимости от запросов государств — членов МАГАТЭ. По мере роста интереса к таргетной терапии потребность в альфа-излучающих радиоизотопах и радиофармпрепаратах продолжает расти. В результате многие государства — члены МАГАТЭ стремятся разработать и/или адаптировать технологии для производства различных альфа-эмиттеров.

Ас-225 является одним из наиболее перспективных альфа-излучателей для таргетной терапии. Успешные результаты недавних клинических испытаний радиофармпрепаратов на основе Ас-225 значительно повысили интерес к этому радиоизотопу. К сожалению, в настоящее время поставки Ас-225 ограничены. Координация крупномасштабного производства Ас-225 надлежащей чистоты является одной из наиболее приоритетных задач МАГАТЭ. В последнее время в МАГАТЭ произошло несколько важных событий, в том числе «Семинар по поставкам актиния-225», проведенный в октябре 2018 года [1].

МАГАТЭ также широко поддерживает производство радиофармацевтических препаратов на основе альфа-эмиттеров в рамках семинаров («Региональный семинар по приготовлению и клиническому применению терапевтических пептидов, меченных радиоактивными изотопами», проведенный в июне 2018 года [2]), публикаций (IAEA TECDOC-1856 по процедурам контроля качества для радиофармпрепаратов на основе альфа-эмиттеров [3]) и мероприятий, связанных с проектами технического сотрудничества на национальном и региональном уровнях.

Наш отдел продолжит работать со всеми государствами — членами МАГАТЭ над развитием производства радиоизотопов и радиофармацевтических препаратов. В наших ближайших планах техническое совещание «Производство альфа-излучателей и радиофармацевтических препа-

ратов (Ac-225 и Bi-213)» в декабре 2019 года в Вене и новая публикация на эту тему в 2020 году.

1. http://www-naweb.iaea.org/napc/iachem/working_materials/Report_Workshop%20on%20Supply%20of%20Ac-225_IAEA_JRC_October2018.pdf
2. <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-technique-to-fight-prostatecancer-iaea-organizes-first-of-a-kind-training-for-radiopharmacists>.
3. Quality Control in the Production of Radiopharmaceuticals: IAEATECDOC-1856 (ISBN 978-92-0-1079183).

Медицинские изделия на основе альфа-эмиттеров

Вальздорф О. В., Токтосинов М. Я., Мельникова У. А.

АО «В/О «Изотоп», Москва, Россия
OVValzdorf@isotop.ru

В докладе сопоставляется распространенность применения α - и β -эмиттеров в производстве терапевтических РФП и медицинских изделий. Рассматриваются отличия в диапазонах заболеваний, для которых применяются РФП и медицинские изделия, особенности в проведении клинических испытаний, регистрации и коммерциализации продукции на мировом рынке. Это оказывает существенное влияние на формирование конкурентного поля.

В сегменте медицинских изделий на основе α -эмиттеров конкурентное поле практически не сформировано. На мировом рынке есть разработки, но еще нет регистрации.

В заключение доклада дается описание зарубежных разработок медицинских изделий на основе α -эмиттеров, направления их применения. Уделяется внимание возможным конкурентным технологиям на основе β -эмиттеров, даются прогнозы по количеству целевых пациентов, ценовым диапазонам и т. д.

Перспективные направления ядерной наномедицины

Завестовская И. Н.^{1,2}, Кабашин А. В.^{3,1}, Петриев В.М.^{4,1}

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

³Университет Марселя, Франция

⁴НМИЦ радиологии МЗ РФ

INZavestovskaya@mephi.ru

Представлены не имеющие аналогов в мире результаты в области ядерной наномедицины, позволяющие создавать новые радиофармпрепараты и технологии лучевой диагностики и терапии на основе использования биodeградируемых наночастиц и систем на их основе в качестве агентов доставки радионуклидов и сенсibilизаторов для терапии онкологических и других социально значимых заболеваний.

В качестве носителя для радионуклидов был выбран нанокремний, синтезированный с применением лазерных технологий абляции в жидкости, позволяющий получать коллоидные растворы наночастиц кремния со стабильными размерами с узким распределением и контролируемыми биофотонными свойствами. Уникальность наночастиц кремния связана с их биodeградируемостью, что позволяет быстро выводить их из организма в течение нескольких дней (даже в случае достаточно больших частиц размером 30–80 нм) при полном отсутствии каких-либо токсических последствий.

Наночастицы кремния были протестированы в качестве носителей для радионуклидов Re-188, Ga-68, являющихся перспективными для медицинских применений. Продемонстрирована возможность быстрой ПЭ-Гилизации в течение часа и конъюгации лазерно синтезированных кремниевых наночастиц с радионуклидами Re-188. Было показано, что наноконъюгаты эффективно доставляют радионуклиды с потоком крови в опухоль и эффективно удерживают радионуклиды в опухоли. Это позволяет получать максимальный терапевтический эффект, что было показано на крысах. Выживаемость крыс составила 72% по сравнению с контрольной группой.

Проект реализует международный коллектив, в состав которого входят представители НИЯУ МИФИ, иностранных институтов и университетов (США, Франция, Китай и др.), институтов РАН, институтов и предприятий Росатома и Минздрава РФ, что позволяет сопровождать

проект от фундаментальной идеи до производства и внедрения продукта в медицинскую практику.

Работа включена в тематический план Росатома «Разработка перспективных радиофармпрепаратов для лечения онкологических заболеваний с использованием наночастиц и радионуклидов рения-188, иттрия-90, самария-153, галлия-68» (Договор от 05.09.2019 № 313/1655-Д).

Альфа-эмиттеры для ядерной медицины. Обзор материалов международных мероприятий по направленной альфа-терапии

Артамонов С. А., Самсонов М. Д.

АО «Государственный научный центр Российской Федерации —
Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского», Обнинск, Россия
saartamonov@ippe.ru

Анализ докладов, представленных за последние три года на трех крупнейших международных мероприятиях, посвященных использованию альфа-излучающих изотопов в медицинских целях — 10th International Symposium on Targeted Alpha Therapy (Канадзава, Япония, 2017 г. — TAT10), семинаре «Supply of Actinium-225» (Вена, Австрия, 2018 г.) и 11th International Symposium on Targeted Alpha Therapy (Торонто, Канада, 2019 г. — TAT11), ставит своей целью проследить развитие интереса в научно-исследовательском и медицинском сообществах к теме использования альфа-излучающих радионуклидов и, в частности, актиния-225 в ядерной медицине.

На мероприятиях в Австрии и Японии было представлено более 30 докладов, предметом которых были в основном производство и использование ²²⁵Ac. На TAT10 примерно 30% докладов были посвящены ²²⁵Ac, причем среди авторов докладов преобладали представители европейских научно-исследовательских центров. На семинаре, проведенном под эгидой МАГАТЭ в Австрии, основная часть докладчиков представляли Германию и США. В Японии исследователи из США подняли в своих докладах множество важных вопросов, но практически все доклады американских специалистов были сделаны в соавторстве с их коллегами из Германии. В Австрии совместных американско-германских докладов представлено не было. На обоих мероприятиях была очень популярна тема генератора ²²⁵Ac/²¹³Bi.

На TAT11 было представлено 132 доклада, 50 из которых были посвящены непосредственно актинию-225, а в 12 обзорных докладах он упоминался. Производство ²²⁵Ac и доклинические исследования препаратов на его основе были в центре внимания авторов, выступивших с докладами в Канаде. Тематами докладов также стали: проведение клинических исследований, моделирование поглощающих доз, дозиметрия и очистка актиния от разных химических примесей. Основная часть докладчиков представляли США, Канаду, Германию и Корею.

Участники всех трех международных мероприятий заявляли о растущей потребности в ^{225}Ac и обсуждали различные методы его производства. Было подчеркнуто, что разнообразие методов производства крайне важно для обеспечения постоянно растущего спроса.

Было показано, что для насыщения рынка недостаточно извлечения ^{225}Ac из доступных запасов ^{233}U , если только для этого метода производства не начнут использовать запас долговыдержанного ^{233}U , который в настоящее время контролируется Министерством энергетики США.

Проблема загрязнения ^{225}Ac , полученного из природного тория-232 по реакции скалывания $^{232}\text{Th}(p,xn)^{225}\text{Ac}$ радионуклидом ^{227}Ac , была отмечена как медицинскими исследователями, так и производителями радиоизотопов. Наличие примеси ^{227}Ac лимитирует возможности использования ^{225}Ac в медицинских целях.

Были подробно обсуждены вопросы, связанные с получением ^{225}Ac из ^{226}Ra , в том числе обеспечение радиационной безопасности (особо обсуждался выброс газа ^{222}Rn) во время производства, облучения и восстановления. Было отмечено, что отсутствие экспериментальных данных о поперечном сечении является одним из препятствий в области фотоядерного производства ^{225}Ac из ^{226}Ra .

На всех трех международных совещаниях участники из медицинских и радиофармацевтических сообществ представили и обсудили впечатляющие результаты клинических исследований и растущую во всем мире потребность в ^{225}Ac для направленной альфа-терапии. В Австрии и Канаде очень активно поднимался вопрос о путях удовлетворения этого прогнозируемого спроса, и были подробно обсуждены три основных способа производства, в том числе выделение ^{225}Ac из долговыдержанного ^{233}U , получение ^{225}Ac из природного ^{232}Th по реакции скалывания в высокоэнергетических протонных ускорителях и производство ^{225}Ac из ^{226}Ra в протонных циклотронах или в электронных линейных ускорителях. Были представлены преимущества и недостатки каждого из этих методов производства, а также прогнозы поставок ^{225}Ac .

Многочисленные докладчики из национальных лабораторий, исследовательских институтов и частных компаний из США, Канады, Германии, России и других стран поделились своими последними результатами и обменялись идеями. Эти совещания предоставили всем участникам уникальную возможность обсудить их работу лицом к лицу, укрепить существующее и наладить новое сотрудничество и оказались чрезвычайно полезными для решения проблемы дефицита ^{225}Ac в условиях высокого спроса на него.

Получение препаратов на основе ^{223}Ra , ^{227}Th и ^{225}Ac в АО «ГНЦ НИИАР»

*Андреев О. И., Тарасов В. А., Буткалюк П. С., Романов Е. Г.,
Буткалюк И. Л., Куприянов А. В., Куприянов А. С.*

АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград, Россия
orip@niiar.ru

В АО «ГНЦ НИИАР» проводятся работы по радиохимической переработке облученных в реакторе СМ-3 мишеней с ^{226}Ra , получению и контролю качества опытных образцов ^{227}Ac , $^{228,229}\text{Th}$, ^{223}Ra , ^{227}Th и ^{225}Ac .

Для получения ^{223}Ra разработаны две различные технологические схемы. Первая заключается в его выделении непосредственно из ^{227}Ac . Радий отделяется от ^{227}Ac и ^{227}Th методом экстракционной хроматографии с использованием сорбента Ln-Resin. Данная схема не позволяет выделять ^{227}Th в качестве отдельного продукта. Вторая схема получения ^{223}Ra предполагает промежуточное выделение ^{227}Th , его выдержку с последующим отделением. Разделение $^{227}\text{Th}/^{227}\text{Ac}$ и $^{223}\text{Ra}/^{227}\text{Th}$ осуществляется методом анионообменной хроматографии на смоле BioRad AG-1x8 по однотипной методике.

В обеих схемах ^{223}Ra подвергается дополнительной очистке на катионообменной смоле BioRad AG-50x8 в присутствии ЭДТА. Перевод радия в хлорид проводится упариванием с последующим растворением в HCl заданной концентрации. Каждая из схем позволяет достигнуть высокой степени очистки ^{223}Ra от ^{227}Ac . Содержание ^{227}Ac не превышает $10^{-4}\%$ (ниже предела обнаружения используемого аналитического метода). Более подробно сравнение данных схем проводится в докладе.

В отличие от ^{227}Ac , который не содержит значимых количеств других изотопов актиния, ^{229}Th , получаемый при облучении ^{226}Ra , содержит долгоживущий ^{228}Th ($T_{1/2} = 1,9$ лет) с активностью, от 4 до 25 тысяч раз превышающей активность ^{229}Th . Для снижения соотношения активностей $^{228}\text{Th}/^{229}\text{Th}$ рассматривались несколько различных схем облучения — как одностадийных, так и двухстадийных. Было показано, что наилучшие результаты достигаются при выделении из облученного радия смеси $^{228,229}\text{Th}$, изготовлении из нее мишеней и их облучении в высокопоточном реакторе.

Данная двухстадийная схема в настоящее время не может быть реализована из-за ряда нерешенных технологических проблем, связанных с высокими показателями удельного энерговыделения радионуклида ^{228}Th

и скорости накопления из него ^{220}Rn . При облучении на второй стадии актиниевых мишеней в течение 5–6 месяцев можно получить соотношение активности на уровне 1000, но это приводит к излишнему выгоранию ^{229}Th . В любом случае даже такое соотношение активностей делает использование известных методов выделения ^{225}Ac проблематичным из-за интенсивного радиолиза реагентов.

В докладе рассмотрены возможные варианты выделения ^{225}Ac из $^{228,229}\text{Th}$, использующие на начальной стадии осаждение малорастворимых соединений радия или тория с последующей хроматографической очисткой ^{225}Ac после распада короткоживущих радионуклидов.

Получение ^{225}Ac облучением мишеней из металлического тория протонами средних энергий

Ермолаев С. В., Жуйков Б. Л.

Институт ядерных исследований Российской академии наук,
Москва, Россия
ermolaev@inr.ru

При облучении природного тория ^{232}Th протонами средних энергий (40—200 МэВ) образуется целый ряд α -излучающих радионуклидов, потенциально применимых в ядерной медицине: $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$, $^{227}\text{Th}/^{223}\text{Ra}$, $^{228}\text{Th}/^{224}\text{Ra}$, $^{230}\text{Pa}/^{230}\text{U}/^{226}\text{Th}$. Начиная с 2006 года Институт ядерных исследований РАН (ИЯИ РАН) в сотрудничестве с другими организациями исследует возможности получения, выделения и дальнейшего применения этих радионуклидов, из которых наиболее перспективными являются ^{225}Ac ($T_{1/2}=9,9$ сут) и продукт его распада ^{213}Bi ($T_{1/2}=46$ мин).

На основании экспериментально определенных сечений ядерных реакций и опытов по облучению толстых мишеней было показано, что облучение Th в течение 7–10 дней на линейном ускорителе ИЯИ РАН протонами с энергией 160 МэВ и током ~ 100 μA приводит к образованию ^{225}Ac в количестве, сравнимом с уровнем текущего мирового производства за год (~ 70 ГБк). Помимо линейного ускорителя ИЯИ РАН, близкими характеристиками обладают ускорители, действующие в Лос-Аламосской и Брукхейвенской национальных лабораториях (ЛАНЛ и БНЛ, США) и в Национальном центре ТРИУМФ (Канада).

Мишени, выдерживающие тепловые и радиационные нагрузки, возникающие при интенсивном облучении, разработаны, изготовлены и испытаны ИЯИ РАН совместно с НИИ НПО «Луч» (Подольск, Россия). Мишень представляет собой диск металлического Th толщиной 3–4 мм в ниобиевой оболочке. При изготовлении используется диффузионная сварка, что позволяет добиться теплового контакта Th и Nb, обеспечивающего требуемый теплоотвод.

Процедура извлечения ^{225}Ac из облученной мишени и очистки от продуктов ядерных реакций скалывания и деления тория разработана ИЯИ РАН при участии МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия). Она включает в себя вскрытие мишени, растворение тория и последующую экстракцию раствором ди-2-этилгексилфосфорной кислоты в толуоле. Затем ^{225}Ac , остающийся в водной фазе, концентрируют и очищают ме-

тодом экстракционной хроматографии с использованием смол (TrisKem Int.): DGA Resin (экстрагент — N,N,N',N'-тетра-*n*-октилдигликольамид), Ln Resin (экстрагент — ди-2-этилгексилфосфорная кислота) и TRU Resin (экстрагент — раствор октилфенил-N,N-ди-изобутилкарбамоилфосфиноксида в трибутилфосфате). Хроматографические стадии реализованы по принципу «сквозного» протекания растворов, когда раствор, вытекающий из одного сорбента, служит входящим раствором для следующего сорбента.

Разработанный способ был опробован в условиях горячих камер АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» (Обнинск, Россия), где были выделены образцы ^{225}Ac активностью 300—400 МБк. Продукт ^{225}Ac обладает высокой радионуклидной и химической чистотой, основной примесью является долгоживущий изотоп ^{227}Ac ($T_{1/2}=21,8$ лет) — около 0,1% на момент окончания облучения. В настоящее время ИЯИ РАН разрабатывает различные схемы $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$ генератора, обеспечивающие загрузку более 4 ГБк ^{225}Ac и высокую чистоту элюата ^{213}Bi . Получаемый ^{213}Bi был использован для мечения различных соединений и проведения предварительных биологических испытаний в МРНЦ им. А.Ф. Цыба (филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск, Россия).

Текущий статус и перспективы наработки ^{225}Ac в Канадской национальной лаборатории ядерной физики и физики элементарных частиц

Радченко В. И.

Отдел наук о жизни, TRIUMF,
4004, Вестбрукмолл, V6T 2A3, Ванкувер, Канада
vradchenko@triumf.ca

Актиний-225 ($T_{1/2} = 9,92$ дня) является перспективным кандидатом для применения в мишенной альфа-терапии [1, 2]. Он может быть использован в комплексах с антителами и пептидами. В настоящее время получение ^{225}Ac из ^{229}Th ($T_{1/2} = 7880$ лет) ограничено количеством 63 ГБк/год [2]. На сегодняшний день существует несколько альтернативных путей наработки актиния-225, основанных на облучении тория протонами высоких (≥ 100 МэВ) энергий, а также радиевых мишеней протонами, фотонами и нейтронами. ТРИУМФ (Канадская национальная ускорительная лаборатория) обладает уникальными установками, позволяющими эффективно нарабатывать актиний-225 по большинству существующих методик.

В докладе будет представлен обзор существующих методик наработки актиния, применяемых в ТРИУМФЕ, а также будущие перспективы и возможности. В настоящее время для получения изотопов актиния активно применяются три методики. Нарботка доклинических количеств изотопно чистого актиния производится по методике масс-сепарации (ISOL) на установке ISAC (Isotope Separation and Acceleration Facility).

С 2015 года было произведено более десяти имплантаций изотопов актиния и радия, что позволило провести ряд успешных экспериментов по хелатированию и доклиническому тестированию новых радиофармпрепаратов. В сотрудничестве с Канадскими ядерными лабораториями (CNL) был разработан альтернативный источник актиния-225 из небольшого (8 мКи) количества тория-229, хранящегося в CNL. В настоящее время разрабатывается процедура эффективного отделения актиния и радия от тория, а также подготовка радиофармпрепаратов с высокой удельной активностью. Этот путь наработки представляет интерес с точки зрения доклинических количеств (десятки МБк) актиния-225.

Для получения клинических количеств (ГБк) актиния разрабатывается облучение ториевых мишеней протонами высоких энергий на остаточном пучке. В настоящее время в разработке находятся мишенные узлы и

альтернативные схемы разделения. В качестве альтернативных путей наработки рассматриваются облучения радиевых мишеней фотонами (ARIEL) и протонами на строящейся установке IAMI.

1. Robertson et al. *Current Radiopharmaceuticals* 2018;11(3):156—172.
2. Morgenstern et al. *Current Radiopharmaceuticals* 2018;11(3):200—208.

Текущий статус и перспективы наработки ^{225}Ac фотоядерным способом в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»

*Хрячков В. А., Прусаченко П. С., Хромылева Т. А.,
Пышко А. П., Логинов Н. А.*

АО «Государственный научный центр Российской Федерации —
Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»,
Обнинск, Россия

hva@ippe.ru

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» имеет многолетний опыт производства и поставки на рынок распадного ^{225}Ac . В настоящее время не удастся полностью удовлетворить имеющийся спрос на препараты ^{225}Ac . В будущем планируется дальнейший рост спроса на данный препарат. В этих условиях становится актуальным развитие альтернативных способов получения актиния. В АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» проводятся работы, направленные на обоснование фотоядерного способа производства ^{225}Ac из ^{226}Ra .

Из литературы известны несколько способов наработки ^{225}Ac : реакторный, с использованием низкоэнергетических и высокоэнергетических протонов, и фотоядерный способ. При оценке перспективного направления наработки изотопа были приняты во внимание различные аспекты, возникающие при использовании того или иного способа наработки, а именно: скорость наработки изотопа, изотопная чистота конечного продукта, снятие тепла, возникающего при воздействии электронного пучка ускорителя на различные элементы конструкции облучаемой мишени, радиационные повреждения, возникающие при взаимодействии пучка ускоренных частиц с материалами мишени. Рассмотрение всей совокупности факторов позволило нам остановить свой выбор на фотоядерном способе наработки актиния-225.

Для данного подхода двумя независимыми группами, использующими расчетные коды MCNP X и GEANT 4, была проведена оценка скорости наработки и качества получаемого актиния в зависимости от энергии электронов, диаметров пучка и радиевой мишени, толщины и типа материала конвертора, типа используемого теплоносителя. Проведены расчеты энерговыделения в перспективных вариантах мишенного узла и температурных полей, возникающих в процессе облучения. Рассмотрены вопросы интенсивности и спектрального состава гамма-излучения, возникающего при работе электронного ускорителя и после завершения его работы, скорости остывания облученной мишени, технологии циклов облучения — остывания — экстракции актиния для рассматриваемой схе-

мы. Проанализированы возможные аварийные ситуации и сценарии их устранения.

Моделирование интегральных экспериментов, выполненных в Дубне и Австралии, показали, что сечение фотоядерной реакции $^{226}\text{Ra}(\gamma, n)$, приведенное в библиотеке оцененных данных TENDL, по всей видимости, является существенно заниженным. Проведенная работа показывает, что при использовании радиевой мишени массой 1 г и ускорителя электронов на 35 МэВ, 100 мкА, консервативная оценка выхода ^{225}Ac составляет 24 Ки/год.

Альфа-эмиттеры в исторических ампулах с облученным радием-226. Зарубежный и отечественный опыт

***Костылев А. И., Душин В. Н., Лумпов А. А., Красников Л. В.,
Яковлев В. А., Металиди М. М., Мазгунова В. А.***

АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина»,
Санкт-Петербург, Россия
Alexander.kostylev@gmail.com

Облучение радия-226 нейтронами позволяет одновременно получить три ряда альфа-эмиттеров: торий-227/актиний-227/радий-223, торий-228/радий-224/свинец-212, торий-229/актиний-225/висмут-213. Данный путь получения перечисленных радионуклидов реализуется в рамках программы DOE (США) [1] и ряда европейских компаний [2]. Ограничением для масштабного производства альфа-эмиттеров за рубежом является дефицит радия-226, запасы которого составляют около 20 грамм в труднодоступной форме [3]. На предприятиях Госкорпорации «Росатом» в течение последних лет также ведутся работы в этом направлении. Базой этих работ являются запасы радия-226, произведенного по технологии Радиевого института [4].

Имеющиеся литературные данные по выходу целевых альфа-эмиттеров при облучении радия-226 нейтронами в ряде случаев противоречивы, особенно по выходу тория-229, что связано со сложностью анализа свежееоблученного радия-226 [5—8]. В этом отношении ценная информация получена при исследовании исторических ампул с радием-226, изготовленных и облученных в 60-х годах в рамках Актиниевых программ США [4] и России [5].

Доклад посвящен сравнительному анализу зарубежного и отечественного опыта из данных открытых публикаций по эффективности реакторного метода наработки альфа-эмиттеров.

1. Gillo J. DOE Isotope Program Overview, Office of Science, U.S. Department of Energy, 2018, https://www.isotopes.gov/outreach/reports/IPUserMeeting_062518.pdf.
2. Engle J.W. *Current Radiopharmaceuticals*, 2018, 11, 173—179.
3. Parks D.L., Thiel E.C. Radium disposition options for the Department of Energy, *WM'02 Conference*, February 24–28, 2002, Tucson.

4. Кичигин А.И., Таскаев А.И. *Вопросы истории естествознания и техники*, 2004, 4, 3—30.
5. Kuznetsov R.A., et al. *Radiochemistry*, 2012, 54 (4), 383-387.
6. Hogle S., et. al. *Applied Radiation and Isotopes*, 2016, 114, 19—27.
7. Boden S., Vints K., Cagno S., Maertens D., et. al. *Applied Radiation and Isotopes*, 2016.
8. Радиевый институт им. В.Г. Хлопина. К 75-летию со дня основания / По общ. ред. Е.И. Ильенко. — Гатчина: ПИЯФ РАН, 1997. — 340 с.

Создание и исследование препарата для радионуклидной терапии нейроэндокринных опухолей: синтез, устойчивость в физиологических средах и цитотоксичность

Демченко А. Г.¹, Егорова Б. В.², Коков К. В.³, Ларкин А. А.³,
Людуп А. В.¹, Панченко В. Я.³, Прошин М. А.³,
Решетов И. В.^{1,3}, Чувилин Д. Ю.³

¹Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

²Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

kvkokov@yandex.ru

Таргетная альфа-терапия в настоящее время является одним из наиболее многообещающих и динамично развивающихся методов лечения онкологических заболеваний. Определенный интерес для радионуклидной терапии представляет бета-эмиттер ^{212}Pb , дочерние нуклиды (^{212}Bi и ^{212}Po) которого подвергаются α -распаду, благодаря чему ^{212}Pb рассматривается как *in vivo* генератор альфа-эмиттеров.

В связи с этим разработан и реализован новый метод производства радионуклида ^{212}Pb для исследований в области ядерной медицины. Также реализован метод синтеза меченного ^{212}Pb комплекса на основе синтетического пептида Tug³-октреотат, конъюгированного с бифункциональным хелатирующим агентом DOTA (DOTATATE). Данное соединение специфично к рецепторам соматостатина типа SSTR2, сверхэкспрессия которых наблюдается в клетках ряда опухолей.

Радионуклид ^{212}Pb получали с помощью разработанного генератора $^{228}\text{Th}/^{212}\text{Pb}$. Принцип работы генератора основан на удалении из объема с ^{228}Th -содержащей ионообменной смолой с потоком воздуха газообразного ^{220}Rn в отдельный объем-накопитель. После распада ^{220}Rn образуется ^{212}Pb , который вымывается из накопителя раствором 0,1 М HCl. Благодаря такому разделению фаз обеспечивается высокая радионуклидная чистота препарата, что играет одну из ключевых ролей при применении в ядерной медицине. Радионуклидная чистота была подтверждена анализом образцов с помощью альфа-спектрометрического метода.

Проведены исследования по зависимости радиохимического выхода реакции мечения DOTATATE радионуклидом ^{212}Pb в случае различных молярных активностей, времени синтеза и величин pH. Также проведены исследования на предмет диссоциативной устойчивости синтезированнойно-

го препарата в изотоническом растворе. Показано, что целостность комплекса сохраняется на уровне более чем 90% на протяжении всего периода полураспада ^{212}Pb (10,64 ч). Вместе с этим проведены эксперименты по определению устойчивости комплекса в сыворотке крови человека. Сыворотка была получена из крови здорового донора. Эксперименты показали, что на протяжении временного отрезка вплоть до 10 ч устойчивость $[^{212}\text{Pb}]\text{DOTATATE}$ составляет величину порядка 80—85%.

Проведены исследования цитотоксичности комплекса $[^{212}\text{Pb}]\text{DOTATATE}$ на клетках рака поджелудочной железы (клеточная линия Rin-m5F) с использованием МТТ-теста. Цитотоксический эффект наблюдался спустя 22 ч и 46 ч после начала воздействия препарата на исследуемые клетки. В перспективе планируется проведение исследований по биораспределению препарата, а также других доклинических испытаний.

Особенности альфа-спектрометрического измерения активности изотопов радия, актиния и тория

Куприянов А. С., Буткалюк П. С., Буткалюк И. Л., Печорина С. С.

АО «ГНЦ НИИАР», Дмитровград, Россия
orip@niiar.ru

В АО «ГНЦ НИИАР» ведутся работы по созданию производства препаратов радия, актиния и тория медицинского назначения. Когда в рамках этих работ осуществляется контроль содержания радионуклидов, часто возникает задача одновременного определения активности большого числа альфа-излучателей в пробе с заданной точностью. В данной работе активности компонентов определяли с помощью альфа-спектрометра на основе комплекта кремниевых PIPS-детекторов (производства ООО «СНИИП-Плюс», Москва) и амплитудного анализатора импульсов АЦП-8К-И2 (производства ЗАО НПЦ «Аспект», Дубна).

Из-за большого самопоглощения частиц важным условием для альфа-спектрометрии является малая толщина слоя радиоактивного вещества на плоском источнике. Особенно это актуально при наличии в спектре более двух-трёх пиков полного поглощения. В случае с препаратами радия, актиния и тория каждый радионуклид имеет длинную цепочку продуктов распада, из которых как минимум четыре дочерних радионуклида являются альфа-излучателями с несколькими значимыми энергетическими выходами. При большом самопоглощении в источнике и большой ширине пиков полного поглощения определение активности указанных радионуклидов сильно затрудняется, так как значение энергий альфа-излучения дочерних радионуклидов выше, соответственно, каждый из них начинает вносить значимый вклад в энергетическую зону радия, актиния и тория.

В данной работе применяли самый распространённый, простой и быстрый способ изготовления источников — выпаривание растворов на подложке [1]. Способ был модифицирован под особенности технологии производства препаратов радия, актиния и тория. Например, введена обязательная прокалка источника с постепенным повышением температуры до 700 °С. Также учтено присутствие в некоторых растворах азотной кислоты высокой концентрации, существенно затрудняющей изготовление источника. Установлено, что при концентрации азотной кислоты более 4 моль/л происходит формирование ярко выраженной нерастекающейся капли азотнокислого раствора под действием сил поверхностного натя-

жения, как следствие, возникает неравномерное распределение альфа-излучающих радионуклидов на поверхности источника.

Методом автордиографии получена картина распределения активности по площади источника. Отмечена зависимость между распределением активности и энергетическим разрешением получаемого спектра.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00145.

1. Коробков В. И., Лукьянов В. Б. Методы приготовления препаратов и обработка результатов измерения активности. Атомиздат. 1973 г.

Новый метод производства медицинского альфа-эмиттера ^{149}Tb

Моисеева А. Н., Алиев Р. А.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Moiseeva_AN@nrcki.ru

Желание учёных перейти на новый, клеточный, уровень борьбы с онкологическими заболеваниями в настоящее время осуществляется благодаря использованию в практической медицине альфа-излучающих радионуклидов. Однако на данный момент существует множество проблем, связанных с получением, устойчивостью и распространением в организме соединений, содержащих альфа-эмиттеры. В настоящее время наибольшее распространение для мишенной альфа-радиотерапии получил ^{225}Ac , однако его использование осложнено из-за цепочки распада с дочерними нуклидами, также испускающими альфа-частицы, которые приобретают подвижность в организме вследствие разрушения комплекса с лигандом ещё на стадии первого альфа-распада [1].

Одним из перспективных радионуклидов, испускающих альфа-частицы, является тербий-149, обладающий более мягкой альфа-линией, а также распадающийся с выделением позитронов и Оже-электронов, в связи с чем возможно его использование в тераностических целях. В настоящее время существуют определённые сложности с получением данного радиоизотопа. Недавно был предложен метод получения ^{149}Tb путём облучения обогащённого оксида европия-151 He-3 частицами [2], а также отработана методика выделения и очистки изотопов тербия из облучённой европиевой мишени [3].

Настоящая работа посвящена развитию этого метода. В ходе работы был проведён ряд экспериментов по облучению металлических европиевых мишеней пучком альфа-частиц, а также частицами He-3 на циклотроне У-150 в НИЦ «Курчатовский институт». Были определены сечения реакций $^{151}\text{Eu}(\text{He};xn)^{154-x}\text{Tb}$, рассчитаны интегральные выходы данных продуктов на металлической мишени обогащенного ^{151}Eu в диапазоне энергий He-3 частиц от 40 до 70 МэВ.

Рассчитанные значения характеризуют возможность получения $^{149,152}\text{Tb}$ описанными способами, однако помимо исследуемых изотопов тербия, пригодных для медицины, образуются изотопы тербия-150 и 151. Но они имеют относительно небольшие периоды полураспада и испускают конверсионные и Оже-электроны, что также может быть использовано в мишенной радиотерапии.

1. Müller, C., van der Meulen, N.P., Benešová, M., Schibli, R.: Therapeutic Radiometals Beyond ^{177}Lu and ^{90}Y : Production and Application of Promising α -Particle, β^- -Particle, and Auger Electron Emitters. *J. Nucl. Med.* **58**, 91S (2017).
2. Zagryadskii, V.A., Latushkin, S.T., Malamut, T.Y., Novikov, V.I., Ogloblin, A.A., Unezhev, V.N., Chuvilin, D.Y.: Measurement of Terbium Isotopes Yield in Irradiation of ^{151}Eu Targets by ^3He Nuclei. *At. Energy.* **123**, 55 (2017).
3. Kazakov, A.G., Aliev, R.A., Bodrov, A.Y., Priselkova, A.B., Kalmykov, S.N.: Separation of radioisotopes of terbium from a europium target irradiated by 27 MeV α -particles. *Radiochim. Acta.* **106**, 135 (2018).

Получение новых ядерных данных для наработки медицинских радионуклидов в ЛЯР

Аксенов Н. В.

Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова,
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
nikolay.aksenov@jinr.ru

В настоящее время рассматриваются ряд альфа-излучателей, отвечающих требованиям ядерной медицины. Выбор радионуклида для дальнейших исследований и применения во многом основывается на имеющихся данных о ядерных реакциях его получения. Во многих случаях данных явно недостаточно либо они противоречивы. Получение новых ядерных данных (ожидаемые выходы и объемы наработки) позволит предложить пути наработки тех или иных нуклидов. Ускорительный комплекс Лаборатории ядерных реакций может быть использован для проведения таких исследований благодаря своим параметрам — различные типы ускоряемых частиц, их энергетические характеристики и интенсивности потоков.

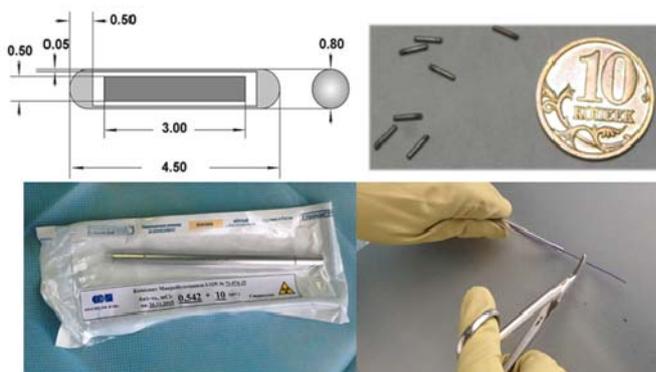
В докладе будет рассмотрен накопленный в лаборатории опыт разработки методик радиохимического выделения из облученных мишеней и получения ряда радионуклидов — ^{26}Al , ^{97}Tc , ^{97}Ru , ^{111}In , ^{178}W (^{178}Ta), ^{235}Np , ^{236}Pu , ^{237}Pu и др. [1]. Особый интерес представляют реакции с многозарядными ионами (^{12}C , ^{16}O и др.), позволяющие получать радионуклиды в состоянии без носителя и высокой радиохимической чистотой, отстоящие по Z и A относительно далеко от ядра мишени, например ^{149}Tb [1]. Показана возможность наработки альфа-излучателей, изомеров и перспективных оже-эмиттеров ^{123}I , ^{236}Pu , $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$, ^{237}U , $^{193\text{m},195\text{m}}\text{Pt}$, $^{192,194}\text{Ir}$, $^{117\text{m}}\text{Sn}$, $^{87\text{m}}\text{Sr}$, ^{227}Th и др. в развиваемых в лаборатории методах с использованием фотоядерных реакций на ускорителе электронов МТ-25 [2—9].

1. Дмитриев С.Н., Зайцева Н.Г., Очкин А.В. Радионуклиды для ядерной медицины и экологии. Дубна, 2004.
2. Aksenov N.V., Bruchertseifer H., Starodub G.Ya., Vostokin G.K., Tereshatov E.E., Bozhikov G.A., Shishkin S.V., Dmitriev S.N. A simple and quick method for the preparation of radionuclide $^{87}\text{Y}/^{87\text{m}}\text{Sr}$ generator using the $^{nat}\text{Rb}(\alpha, xn)^{87}\text{Y}$ reaction. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 279, 1, 341-343, 2009.
3. Karamian S.A., Carroll J.J., Aksenov N.V., Albin Y.A., Bozhikov G.A., Dmitriev S.N., Starodub G.Y., Vostokin G.K. Production of isomers in com-

- pound and transfer reactions with ^4He ions. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* 646, 87 (2011).
4. Karamian S.A., Aksenov N.V., Albin Yu.V., Belov A.G., Bozhikov G.A., Dmitriev S.N., Starodub G.A. Methods for production of $^{195\text{m}}\text{Pt}$ isomer. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 78(5), 367 (2014).
 5. Karamian S.A., Aksenov N.V. and Bozhikov G.A. Double-neutron capture reaction and natural abundance of ^{183}W , ^{195}Pt and ^{199}Hg isotopes. *Journal of Physics: Conference Series* 724 (2016) 012022.
 6. Karamian S.A., Carroll J.J., Aksenov N.V., Albin Yu.V., Belov A.G., Bozhikov G.A., Dmitriev S.N., Starodub G.A. Production of isotopes and isomers with irradiation of $Z = 47-50$ targets by 23 MeV bremsstrahlung. *Physics of Atomic Nuclei* 78(6), 757 (2015).
 7. Сабельников А.В., Маслов О.Д., Густова М.В., Белов А.Г., Дмитриев С.Н. Получение ^{237}U в фотоядерной реакции $^{238}\text{U}(\gamma, n)$ на ускорителе электронов — микротроне МТ-25 // *Радиохимия*. 2006. 48(2), 168—171.
 8. Дмитриев С.Н., Маслов О.Д., Сабельников А.В. Получение ^{236}Pu в реакции $^{237}\text{Np}(\gamma, n)$ // *Радиохимия*. 1998. 40(6), 533—537.
 9. Маслов О.Д., Сабельников А.В., Дмитриев С.Н. Получение ^{225}Ac в фотоядерной реакции $^{226}\text{Ra}(\gamma, n)$ на ускорителе электронов — микротроне МТ-25 // *Радиохимия*. 2006. 48(2), 176—178.

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» является одним из ведущих научно-исследовательских центров Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». Институт более 30 лет работает на рынке продукции для ядерной медицины, является разработчиком и производителем радиоизотопной продукции медицинского назначения. Система менеджмента качества АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» сертифицирована в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Продукция отвечает требованиям безопасности.

Микроисточники на основе радиоизотопа йод-125



Геометрические параметры микроисточников, вид стренда с микроисточниками и медицинского контейнера для стренда

Микроисточники (МИ), разработанные ГНЦ РФ – ФЭИ, являются полностью отечественным продуктом и ярким примером импортозамещения. До 2016 года для лечения рака предстательной железы в России применялись МИ только иностранного производства. С получением 7.09.2016 Регистрационного удостоверения № РЗН 2016/4738, выданного Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения, ГНЦ РФ – ФЭИ

получил право производить для медицинских учреждений России МИ, стоимость которых существенно ниже их импортных аналогов.

МИ с йодом-125 применяются при низкодозной брахитерапии локализованного рака предстательной железы.

Офтальмоаппликаторы на основе радиоизотопа рутений-106

Офтальмоаппликатор (ОА) представляет собой закрытый радионуклидный источник ионизирующего излучения. Брахитерапия с использованием офтальмоаппликаторов (ОА) является «золотым стандартом» органосохранного лечения злокачественных заболеваний глаза.

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» является единственным в России разработчиком и изготовителем ОА с радиоизотопом Ru-106. Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения выдала Регистрационное удостоверение № РЗН 2014/1750 на ОА с изотопом Ru-106.



Офтальмоаппликаторы (ОА) с изотопом Sr-90

ОА с изотопом стронций-90 в настоящее время не производятся нигде в мире, но имеют спрос в медицинских учреждениях.

Производство ОА со стронцием-90 планируется совместно с ЗАО «Ресурсы и технологии».

Генератор рения-188 ГРЕН-1

Генератор W-188/Re-188 предназначен для многократного получения радионуклида ^{188}Re стерильного апиrogenного натрия перрената, который используется в медицинских клиниках для приготовления терапевтических радиофармпрепаратов, предназначенных для лечения онкологических и неонкологических заболеваний. Технология производства отечественных генераторов W-188/Re-188 была разработана в АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», единственным российским производителем генераторов W-188/Re-188. Качество элюата соответствует требованиям Европейской и Российской фармакопеи.



Вид генератора рения-188

РФЛП «Микросферы альбумина крови человека, меченные изотопом иттрий-90»

АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» разрабатывает бета-активные РФЛП «Микросферы альбумина крови человека, меченные изотопом иттрий-90» — импортозамещающее лекарственное средство, предназначенное для радионуклидной терапии рака печени (радионуклидной эмболизации первичных и метастатических злокачественных новообразований в печени) и проведения радиосиновектомии больших суставов, и проводит его доклинические испытания.

Актиний-225

Радиофармпрепараты с изотопом актиний-225 показали свою эффективность в терапии целого ряда онкологических заболеваний, таких как миелоидная лейкемия, неходжкинская лимфома, нейроэндокринные опухоли, меланома, глиома, костные метастазы, рак предстательной и молочной железы, солидные опухоли. Актиний-225, получаемый в ГНЦ РФ - ФЭИ (порошок или раствор нитрата Ac-225), может применяться как непосредственно, так и в генераторах висмута-213. Параметры качества Ac-225 находятся на очень высоком уровне, пригодном для производства РФЛП.

Стабильные изотопы

Фонд стабильных изотопов АО «ГНЦ РФ - ФЭИ» располагает 203 наименованиями обогащенных стабильных изотопов (более 2500 образцов различного обогащения, химической формы и агрегатного состояния), в том числе наиболее востребованные на мировом рынке: Ca-42-46, Cd-106-116, Cr-53-54, Cu-63-65, Er-168, Eu-151-153, Fe-54÷58, Gd-152-160, Hf-180, Nd-146-148, Ni-64, Rb-87, Re-185, Sm-152, Sr-86-88, W -186 и т. д.

УДК 539.163

Производство альфа-эмиттеров и перспективы создания РФЛП на их основе: программа и тезисы семинара. — 22 ноября 2019, АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», Обнинск. — 32 с.

ISBN 978-5-907108-16-5

© АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», 2019

Подписано к печати 11.11.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. п. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1,2.

Тираж 80 экз. Заказ № 336.

Отпечатано в ОПиНТИ ГНЦ РФ-ФЭИ.

249033, Обнинск Калужской обл., пл. Бондаренко, 1.

ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского