

«Развитие Научно-образовательного медицинского центра ядерной медицины в «НИЦ Курчатовский институт»

С.М. Деев, И.Н. Завестовская, Н.В. Карпов

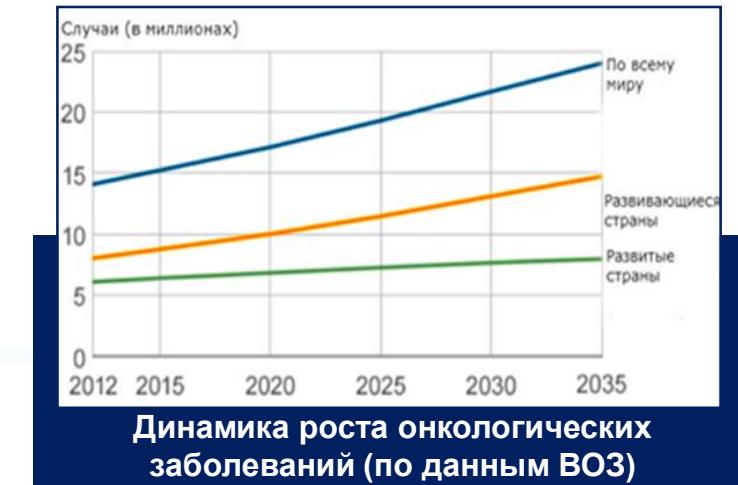
Перспективные направления развития энергетической безопасности ядерных и
радиационных технологий,
Минск, 20-22 мая 2025

СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЬ – повышение продолжительности жизни до 78 лет



Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г.
№ 474 «О национальных целях развития РФ на период до 2030 г.»

Указ Президента РФ от 28 февраля 2024 г.
№ 145 «О Стратегии научно-технологического развития РФ»



ПРИОРИТЕТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РФ

В ближайшее десятилетие приоритетами научно-технологического развития следует считать направления, позволяющие получить значимые научные и научно-технические результаты, создать отечественные наукоемкие технологии и обеспечивающие:

- переход к персонализированной, предиктивной и профилактической медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных) и использования генетических данных и технологий;

- **Вызовы для продолжительности жизни людей** – смертельные болезни, второе место – рак.
- К 2030 году число новых заболеваний раком и смертность от него возрастет **в 2 раза** (данные ВОЗ).
- В 2023 г. в Российской Федерации впервые выявлены **674 587** случаев злокачественных новообразований. Прирост данного показателя по сравнению с 2022 г. составил **8,0%**.
- Радиационные методы (в том числе в сочетании с хирургией и химиотерапией) показаны **70%** онкологических больных.



Кардиология

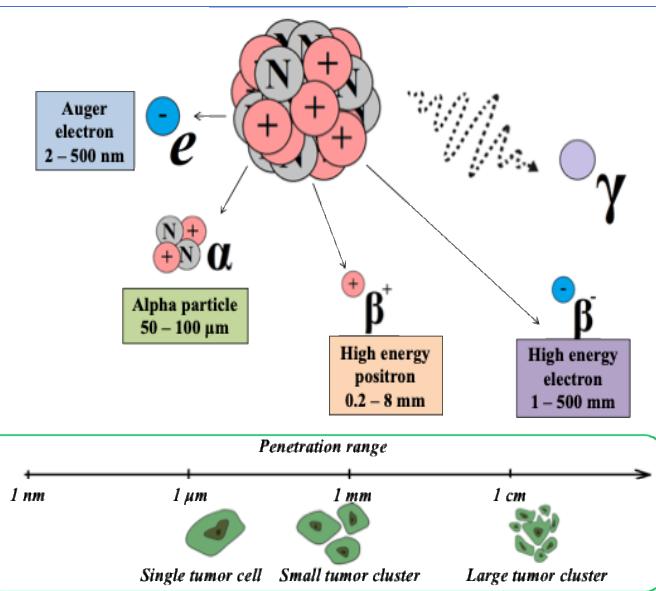
46 %



Неврология
10 %

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

Радиоактивные изотопы



Программа развития направления «Ядерная медицина» НИЦ «Курчатовский институт»

Фундаментальные и
прикладные исследования
в рамках **Тематического
плана НИОКР**
НИЦ «Курчатовский институт»
на 2023 год и плановый
период 2024-2025 годов

**Федеральная научно-
техническая программа**
синхротронных и нейтронных
исследований и
исследовательской
инфраструктуры
на 2019 – 2027 годы



Расширение спектра
производимых РФЛП в РФ



Создание комплексов
адронной терапии



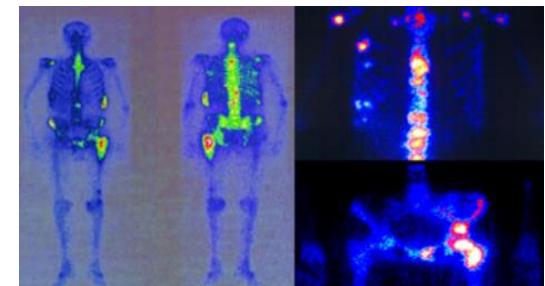
Онкология
34 %



Иные
заболевания
10 %

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ

Источники излучения



Последние достижения сосредоточены на разработке адресных
РФЛП для эффективной терапии и диагностики заболеваний.

ФНТП «Развитие синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019-2027 гг»

НИЦ «Курчатовский институт» -
головная научная организация совместно
с ведущими медицинскими организациями

- НМИЦ радиологии МЗ РФ
- Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А. М. Гранова
- ГК «ММЦ»
- Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского
- Ленинградская областная клиническая больница
- Комитет по здравоохранению Лен. Области
- АО «Номеко»

Создание экспериментально-клинического комплекса ионной лучевой терапии на действующем ускорительном комплексе У-70

Создание
Онкоофтальмологического комплекса

Подготовка кадров
в области
ядерной медицины

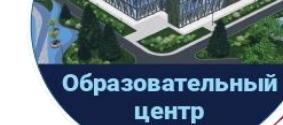
Создание прототипа типового отечественного клинического центра ионной углеродной терапии

Создание
комплекса
протонной лучевой терапии

Создание
радиоизотопного комплекса для получения широкого спектра радиоизотопов для диагностики и терапии онкологических, сердечно-сосудистых, неврологических и офтальмологических заболеваний



**НОВЕЙШИЙ ЦЕНТР
ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ**
на базе передового
отечественного оборудования



Цели и задачи:

- сопровождение проекта ФНТП «Развитие синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры» НИЦ «КИ», включая сопровождение при проектировании и изготовлении ускорительного и другого ВТ оборудования для ЯМ и ЛТ
- разработка и продвижение передовых ядерно-физических технологий в диагностике и лечении сердечно-сосудистых, онкологических и др. заболеваний
- подготовка и переподготовка профессиональных кадров в области ядерной медицины (программы ВО, ДПО и др)
- организация совместных работ с медицинскими партнерами, включая разработку МТЗ, МТТ, проведение испытаний
- создание научно-технологических заделов и внедрение эффективных технологий ядерной медицины и адронной терапии

УСКОРИТЕЛИ

Автоматизированный компактный ускоритель отрицательных ионов
(Siemens) до 11 МэВ

Изохронный циклотрон У-150, 32 МэВ

Протонный циклотрон Ц-80, 40-80 МэВ

Протонный циклотрон Ц-70 (IBA), 70 МэВ

Протонный циклотрон СЦ-1000, 1000 МэВ

У-70, 70 ГэВ



Обеспечена возможность получения следующих радионуклидов:

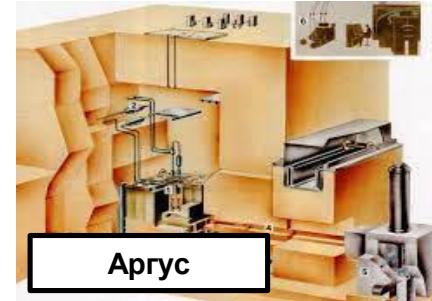
^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}O , ^{18}F , ^{32}P , ^{35}S , ^{51}Cr , ^{54}Mg , ^{60}Co , ^{64}Cu , ^{67}Cu , ^{68}Ge , ^{82}Sr , ^{90}Y , ^{99}Tc , ^{99}Mo , ^{111}In , ^{123}I , ^{124}I , ^{125}I , ^{131}I , ^{124}Xe , ^{127}Xe , ^{133}Xe , ^{149}Tb , ^{152}Eu , ^{153}Gd , ^{177}Lu , ^{186}Re , ^{188}Re , ^{192}Ir , ^{197}Hg , ^{198}Au , ^{201}Tl , ^{203}Tl , ^{204}Tl , ^{211}At , ^{212}Bi , ^{213}Bi , ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{225}Ac , ^{226}Ra , ^{229}Th

РЕАКТОРЫ

Исследовательский реактор ИР-8, 8 МВт

Реактор ВВР-М, 14МВт

Высокопоточный реактор ПИК, 100 МВт



«ЛУЧ ПРОТОН» - прототип типового комплекса ПЛТ для последующего тиражирования.



Характеристики установки:

- энергия – 70 ÷ 250 МэВ
- интенсивность – 5×10^{10} протонов в секунду
- установка типа «Гантри»
- горизонтальный фиксированный пучок
- максимальный размер дозового распределения – 25x25 см
- 3D-система рентгеновского позиционирования
- система формирования дозовых распределений: пассивная, активная
- универсальное средство позиционирования стол-кресло



г. Москва

2024г.

- Разработана проектная документация
- Разработаны эскизные проекты ускорителей
- Получение положительного заключения экспертизы

2025г. – 2027г.

- Разработка и изготовление нестандартизированного оборудования, монтаж и пуско-наладка оборудования

2028 г.

- Ввод в эксплуатацию

2029 г.

- Регистрация медицинского изделия

2030 г.

- Начало оказания медицинской помощи

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛТ:

ТОЧНОСТЬ

- локализация лучевого воздействия в области заданного объема за счет пика Брэгга
- облучение малых и сверхмалых мишней, в том числе расположенных практически вплотную к «критическим» органам

БЕЗОПАСНОСТЬ

- минимизация лучевой нагрузки на здоровые ткани

ЭФФЕКТИВНОСТЬ

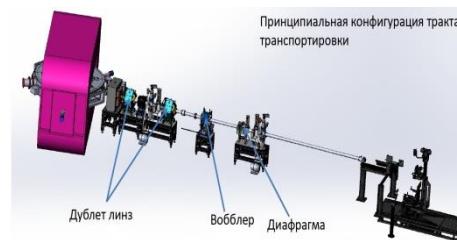
- снижение риска вторичных злокачественных новообразований и побочных эффектов

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛТ:

Технологии диагностики и лучевой терапии социально значимых заболеваний протонными и ионными пучками с использованием бинарных ядерно-физических методов для усиления поражающего воздействия на больные клетки и минимизации лучевого поражения здоровых органов

«ОКО» - комплекс онкоофтальмологии

отработка отечественных технологий ПЛТ злокачественных новообразований глаз и обеспечение лечения пациентов с опухолями органов зрения в России и тиражирования технологий



Характеристики установки:

- энергия – 70 МэВ;
- интенсивность – 1,0 – 1,5 мкА,
- диаметр поперечного сечения – 60 мм
- расходимость пучка – не более 60 мрад
- неравномерность плотности частиц по сечению пучка – не более $\pm 3\%$

- 1 Базалиома;
2 Меланома;
3 Рецидив меланомы орбиты;
4 Рак кожи век, внутреннего угла глаза, конъюктивы, сальных желёз



г. Гатчина

2022г. – 2023г.

- Получено положительное заключение экспертизы 15.12.2022 г.
- Изготовление и поставка оборудования
- Строительство объекта

2024г.

- Ввод в эксплуатацию и регистрация медицинского изделия
- Получение медицинской лицензии

2025 г.

- Начало оказания медицинской помощи

В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» - ИФВЭ получен **ЕДИНСТВЕННЫЙ В РОССИИ** пучок ионов углерода, его параметры соответствуют требованиям лучевой терапии:

- система медленного вывода пучка длительностью 1–2 сек
- энергия – 200 ÷ 450 МэВ/нуклон
- интенсивность – до 10^9 частиц/сек
- неоднородностью не более $\pm 2.5\%$.



В РОССИИ

около **1 200**
пациентов в год нуждаются в
ионной лучевой терапии (ИЛТ)

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технологии сочетанного действия протонными и ионными пучками для получения синергетического действия и увеличения эффективности терапии



эффективно воздействует на радиорезистентные опухоли



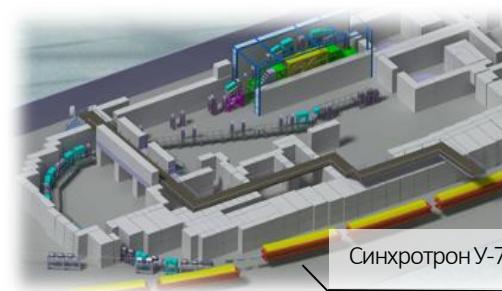
показывает высокую
ОБЭ = 2,5÷3



более короткий курс облучения по сравнению с протонами (в 2 – 3 раза)



эффективность применения 90 %



2030г.
Создание
комплекса
ИЛТ

2031г.
Проведение
регистрации
медицинского изделия

2032г.
Начало оказания
медицинской
помощи

«Луч-Тип-Ион» - типовой клинический центр ИЛТ

- тиражирование центров ИЛТ

до 600 пациентов в год

Получено положительное заключение

ФАУ «Главгосэкспертиза России» от 31.03.2023

«Луч У-70» - экспериментально-клинический комплекс ИЛТ

- отработка технологий лечения;
- разработка оборудования нового поколения;
- подготовка кадров.

до 600 пациентов в год

Получено положительное заключение

ФАУ «Главгосэкспертиза России» от 29.03.2023

2026г.
Создание
комплекса
ИЛТ

2027г.
Проведение
регистрации
медицинского изделия

2028г.
Внедрение
клинических
рекомендаций

2028г.
Начало оказания
медицинской
помощи

Диагностические

ОФЭКТ

γ - излучатели
 $T_{1/2}$ от минут до нескольких дней

^{99m}Tc , ^{111}In , ^{123}I , ^{155}Tb , ^{201}Tl

ПЭТ

β^+ излучатели
 $T_{1/2}$ от секунд до нескольких дней

^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{43}Sc , ^{44}Sc , ^{62}Cu ,
 ^{64}Cu , ^{68}Ge / ^{68}Ga , ^{82}Sr / ^{82}Rb , ^{86}Y , ^{89}Zr ,
 ^{124}I , ^{132}La , ^{135}La , ^{152}Tb

Терапевтические

Бета-излучатели

100–2000 кэВ (пробег электронов в ткани составляет несколько мм)

Альфа-излучатели

с высокой линейной передачей энергии (~80 кэВ/мкм) и коротким пробегом частиц (50-90 мкм)

^{47}Sc , ^{67}Cu , ^{90}Y , ^{117m}Sn , ^{131}I ,
 ^{161}Tb , ^{166}Ho , ^{169}Er , ^{177}Lu ,
 ^{186}Re , ^{188}Re

Оже-электроны

с линейной передачей энергии до 26 кэВ/мкм и очень коротким пробегом частиц от 3 нм

^{149}Tb , ^{211}At , ^{212}Pb ,
 ^{213}Bi , ^{223}Ra ,
 ^{224}Ra , ^{225}Ac , ^{227}Th

^{103}Pd , ^{119}Sb , ^{111}In ,
 ^{117m}Sn , ^{195m}Pt , ^{131}Cs ,
 ^{165}Er

Рост мирового рынка продукции и услуг ЯМ

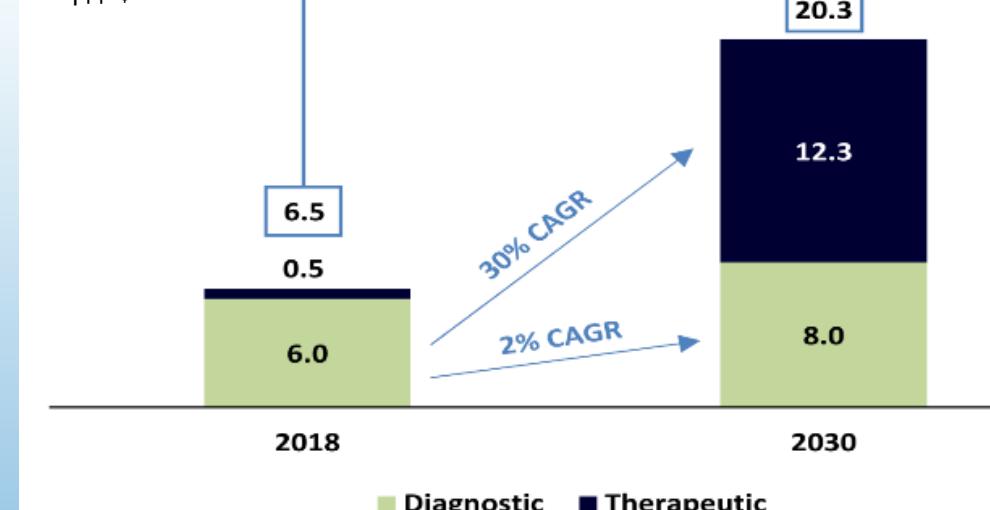
млн.долл. (экспертно)

Среднегодовые темпы роста за период, %



(\\$ in BN)

Млрд. \$



Прогноз глобального рынка РФЛП

Требуется увеличение объемов выпуска и видов доступных РФЛП



1 УРОВЕНЬ - КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАВАЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ

Создание **территориальных кластеров на основе тиражирования модульных клинических центров** ядерных и ускорительных технологий с использованием отечественного оборудования, включая центры ионной и протонной лучевой терапии отечественного производства, для оснащения российского здравоохранения

2 УРОВЕНЬ - ПОДГОТОВКА, ПЕРЕПОДГОТОВКА И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОЛОГИИ

Октябрь 2025 года

III Международный форум природоподобных технологий

<http://nrcki.ru/catalog/nauka/nauchno-organizacionnaya-deyatelnost/konferencii-i-seminary/>



НИЦ «Курчатовский институт»

Дом ученых им. академика А.П. Александрова
(г. Москва, ул. Рогова, д.1)

Организаторы:

- НИЦ «Курчатовский институт»
- Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
- Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
- Национальный медицинский исследовательский центр радиологии Минздрава РФ



Октябрь 2025 года

I Международная молодёжная научная школа по ядерной медицине

IV Международная научная конференция

«Инновационные технологии ядерной медицины и лучевой диагностики и терапии»

<https://protonconf.lebedev.ru/>

VII Международная молодёжная школа

«Инновационные ядерно-физические методы высокотехнологичной медицины»

<https://protontschool.lebedev.ru/>



Спасибо за внимание!

Перспективные направления развития энергетической безопасности ядерных и
радиационных технологий,
Минск, 20-22 мая 2025