



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА



ОТДЕЛ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В МЕДИЦИНЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ НИИЯФ МГУ
ЛАБОРАТОРИЯ РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ

Результаты исследований в области радиационной медицинской физики, полученные в 2023 году

А.П. Черняев, В.В. Розанов, Е.Н. Лыкова, А.А. Логинова, У.А. Близнюк,
П.Ю. Борщеговская, М.В. Желтоножская, М.А. Белихин,
П.Д. Ремизов, С.А. Золотов, А.А. Щербаков

**Докладчик: зав. лаб. РМФ ОЯФММП НИИЯФ МГУ,
к.ф.-м.н. Ф.Р. Студеникин**

Научная конференция НИИЯФ МГУ по итогам 2023 года



МНИОИ им. П.А. Герцена

Наши партнеры

«Фабрика радиотерапевтической техники»,
входящая в группу компаний «Р-Фарм»



Программное обеспечение
для аппаратов лучевой
терапии



Европейский
медицинский
центр



ООО «Медскан»

РОНЦ им. Н.Н. Блохина

ЦКБ №2 им. Н.А. Семашко

**ФГБУ «Российский научный центр
рентгенорадиологии»**

**Институт физики высоких энергий им. А. А. Логунова,
г. Протвино**

**ГБУЗ МО «Московский областной онкологический
диспансер»**

**Медицинский научно-образовательный центр МГУ
имени М. В. Ломоносова**



МГМУ им. И.М. Сеченова



НМИЦ им. Д. Рогачева



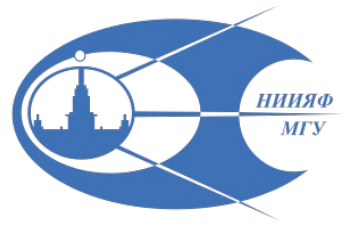
ФМБЦ им. А.И. Бурназяна



НМИЦ им. Н.Н. Бурденко



Радиационные технологии в области медицины



*Под руководством зав. отделом ЯФММП, профессора А.П. Черняева,
на базе ЛРМФ НИИЯФ МГУ
были защищены 4 кандидатские диссертации*

Основные темы исследований ЛРМФ НИИЯФ МГУ в 2023 году

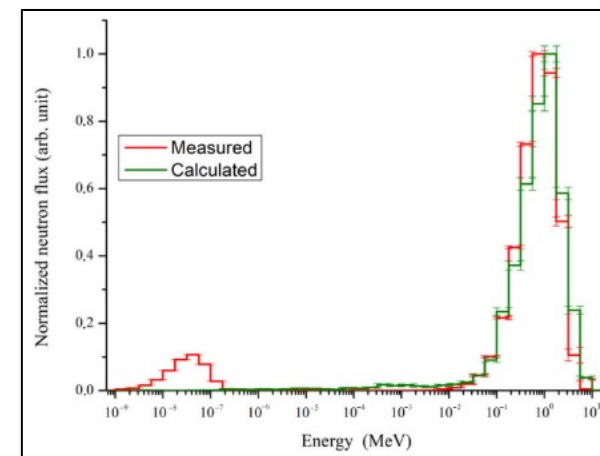
- ✓ Методы повышения эффективности лучевой терапии пучками электронов и фотонов;
- ✓ Метод портальной дозиметрии на медицинском ускорителе TomoTherapy с комплексным использованием встроенных детекторов;
- ✓ Новые методы диагностики и терапии пучками протонов;
- ✓ Получение новых медицинских изотопов на ускорителях электронов;
- ✓ Исследование влияния дисторсии МРТ-изображений на планирование лучевой терапии.

Повышение эффективности лучевой терапии пучками электронов и фотонов

профессор Черняев А.П., м.н.с. Лыкова Е.Н., м.н.с. Щербаков А.А.

- ✓ Произведена оценка дополнительной дозовой нагрузки, обусловленной вторичным излучением фотонов и электронов.
- ✓ Для оценки вклада в дозу от вторичных нейтронов создана и верифицирована на основании глубинного дозового распределения в воде компьютерная модель головки линейного медицинского ускорителя электронов

За 2023 год по этому направлению опубликованы **2 статьи** в журналах **Q2** и **Q3**, сделано **2 доклада** на конференциях.



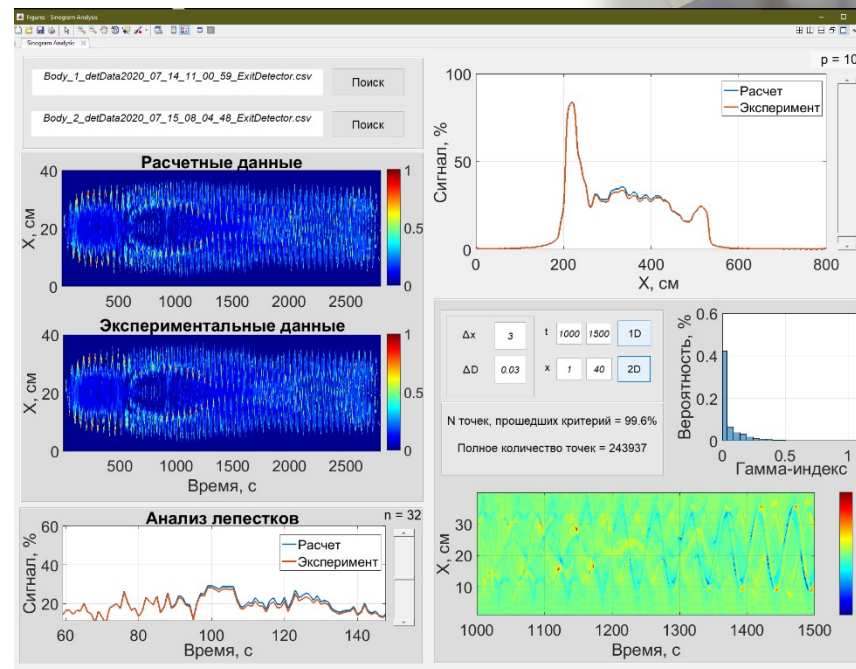
Сравнение рассчитанного (красный) и экспериментального (зеленый) спектров вторичных нейтронов, родившихся в головке медицинского линейного ускорителя электронов, работающего на энергиях фотонов 20 МэВ

Метод портальной дозиметрии на медицинском ускорителе TomoTherapy с комплексным использованием встроенных детекторов

профессор Черняев А.П., м.н.с., зав. отделением МФ Логинова А.А., аспирант Товмасын Д.А.

- ✓ Разработан математический алгоритм обработки данных со встроенных детекторов аппарата TomoTherapy, который позволил обеспечить дополнительный контроль точности выполнения процедур лучевой терапии за счет возможности анализировать широкий набор параметров аппарата, верифицировать надежность реализации планов лучевой терапии, а также оценивать изменения в доставленной пациенту поглощенной дозе.
- ✓ Параметры разработанного алгоритма были внесены в созданный программный код MatLab, был создан графический интерфейс, позволяющий оценивать два набора данных как с помощью визуализации профилей, так и количественно с помощью метода гамма анализа

За 2023 год по этому направлению опубликованы **2 статьи** в журналах **Q1** и **Q2**, защищена **1** кандидатская диссертация.



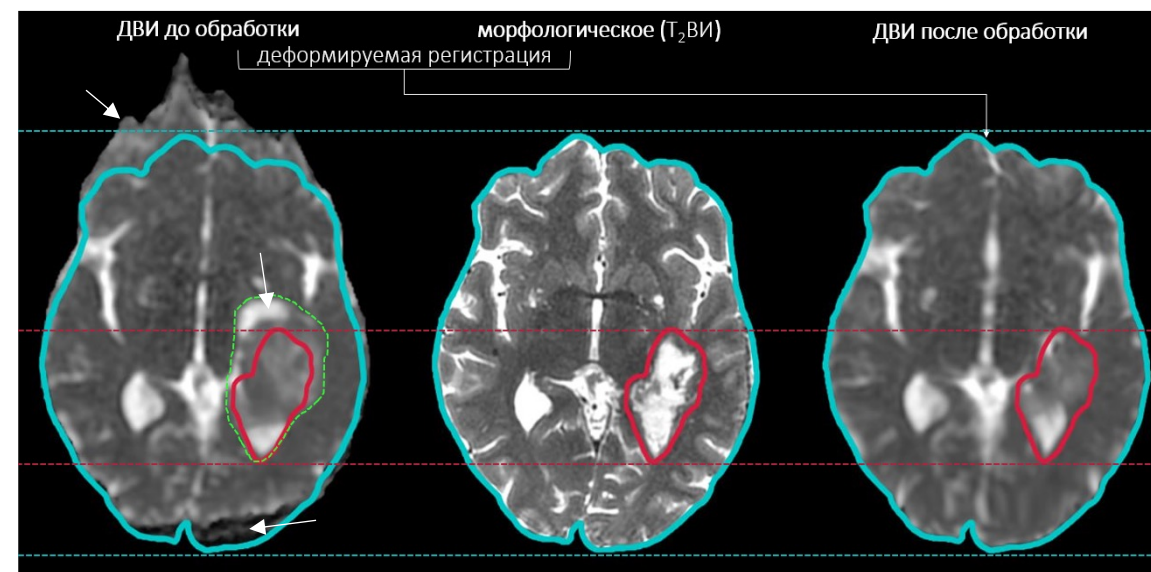
Интерфейс разработанной программы при верификации плана тотального облучения тела

Диффузионно-взвешенные изображения магнитно-резонансной томографии в радиотерапии опухолей головного мозга

профессор Черняев А.П., аспирант Помозова К.А.

- ✓ Предложены новые подходы к коррекции пространственных искажений ДВИ, вызванных неоднородностью постоянного магнитного поля, а также обусловленных неоднородностью радиочастотного поля искажений интенсивности.
- ✓ Проанализирована перспектива использования пространственного распределения измеряемого коэффициента диффузии в количественной оценке радиационно-индуцированной реакции областей белого вещества головного мозга при облучении пациентов с глиобластомой.
- ✓ Описываемые подходы легли в основу программного продукта, позволяющего проводить предобработку, обработку, визуализацию и анализ ДВИ с возможностью вендорнезависимой имплементации данных в систему дозиметрического планирования.

За 2023 год по этому направлению опубликованы **2 статьи** в журналах **Q1** и **Q3**, защищена **1 кандидатская диссертация**.



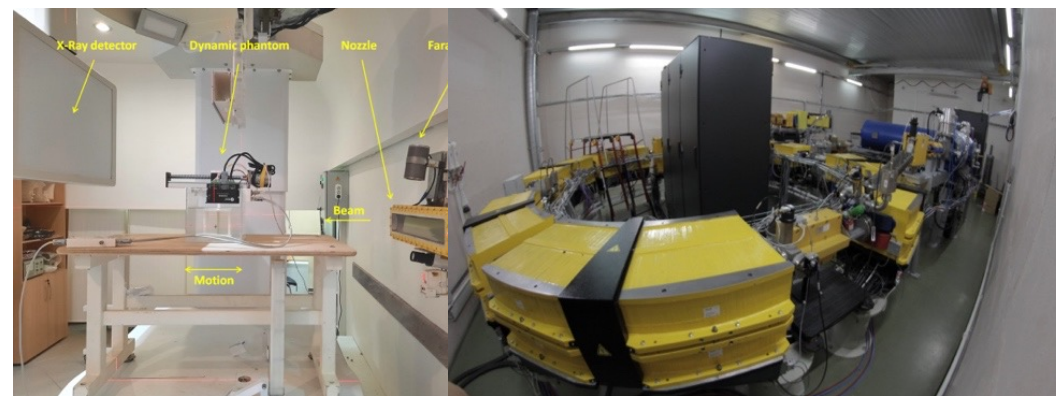
Пример восстановления геометрии ДВИ (ИКД) в случае лучевой терапии пациента с глиобластомой.

Примечание. Красный контур – видимый объем опухоли (GTV) (клинический (CTV) и планируемый (PTV) объёмы мишени отключены для удобства восприятия), голубой контур – головной мозг, зелёный пунктир – область опухоли по ДВИ до восстановления геометрии.

Протонная терапия движущихся опухолей

профессор Черняев А.П., м.н.с. Белихин М.А.

- ✓ Был разработан динамический фантом, оптимизированный под работы на данном комплексе протонной терапии. Фантом позволяет моделировать интрафракционное движение мишени в водной среде, и необходим как для проведения различных дозиметрических исследований, так и для контроля качества протонной терапии.
- ✓ Разработаны собственные системы для оптического и биоимпедансного мониторинга дыхания пациента в реальном времени.
- ✓ Доработана система планирования лечения, добавлена возможность реализовывать методику многократного сканирования при облучении подвижных опухолей.
- ✓ Разработан режим синхронизации процессов инъекции и ускорения частиц в синхротроне с движением опухоли.



Внешний вид эксперимента по облучению подвижной мишени динамического фантома (а) и внешний вид протонного синхротрона (б), на котором производится облучение.

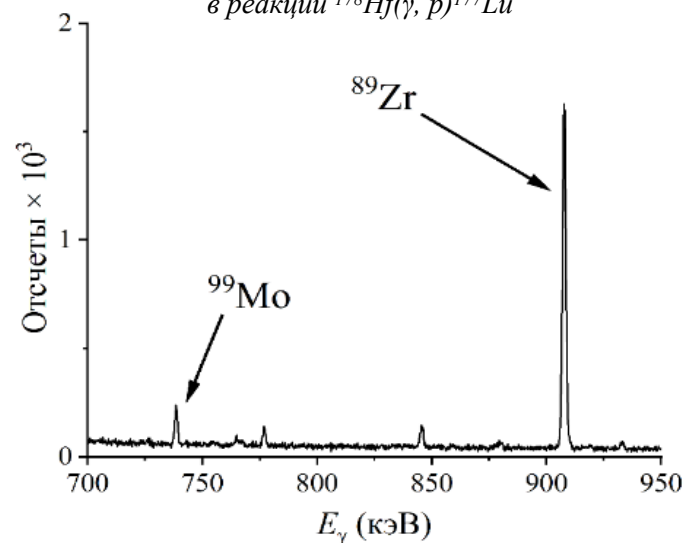
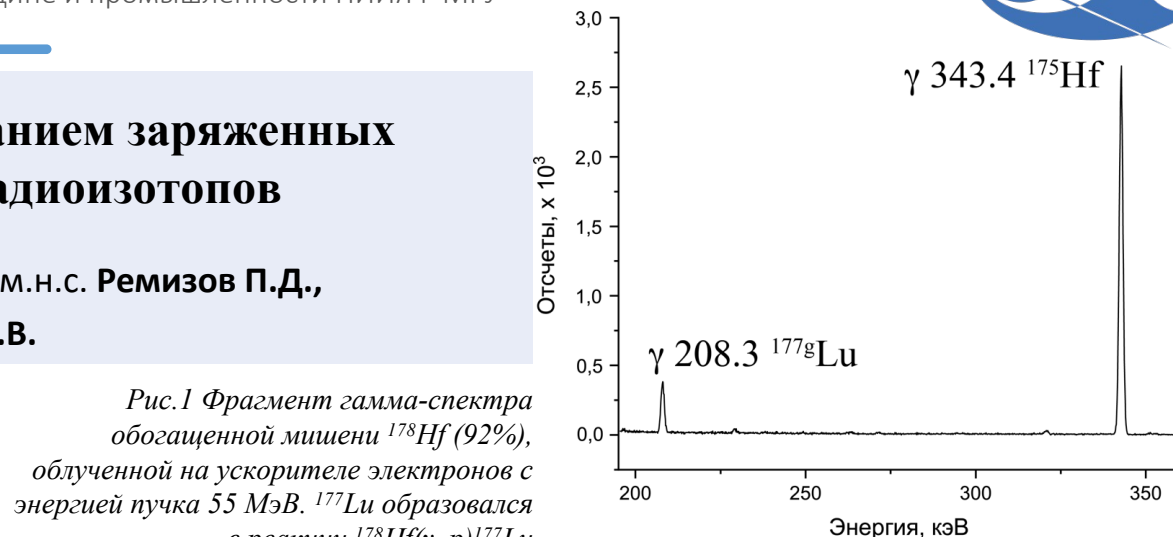
За 2023 год по этому направлению опубликованы **3 статьи** в журналах **Q1** и **Q3**, защищена **1** кандидатская диссертация.



Исследование фотоядерных реакций с испусканием заряженных частиц для производства медицинских радиоизотопов

профессор Черняев А.П., с.н.с. Желтоножская М.В., м.н.с. Ремизов П.Д.,
асп. Юсюк Д.А., студ. Ленивкин М.В.

- ✓ Определены выходы и сечения образования изотопов ^{89}Zr и ^{177}Lu и побочных радиоизотопов в реакциях $(\gamma, 1pXn)$ и $(\gamma, 1\alpha Xn)$ на мишенях природного молибдена, ниобия, циркония, гафния и тантала.
- ✓ Проведено сравнение полученных экспериментальных результатов с результатами теоретических расчетов в рамках нескольких различных моделей ядра.
- ✓ Обнаружено, что реакции $(\gamma, 1p)$ и $(\gamma, 1\alpha Xn)$ на большинстве исследованных ядер происходят преимущественно до равновесного распределения энергии по ядру. Достоверно показано, что реакции $(\gamma, 1\alpha Xn)$ на исследованных ядрах могут происходить в области ГДР, несмотря на существование кулоновского барьера.
- ✓ Осуществлено детальное сравнение возможностей производства изотопа ^{89}Zr как продукта реакций $^{94,95}\text{Mo}(\gamma, 1\alpha Xn)^{89}\text{Zr}$ и как дочернего изотопа ядра $^{89g,m}\text{Nb}$, образующегося в реакции $^{92}\text{Mo}(\gamma, 1p2n)^{89g,m}\text{Nb}$, и изотопа ^{177}Lu в реакциях $^{181}\text{Ta}(\gamma, 1\alpha)^{177}\text{Lu}$ и $^{178}\text{Hf}(\gamma, 1p)^{177}\text{Lu}$.
- ✓ На основании результатов детального анализа возможных способов получения ^{89}Zr и ^{177}Lu в фотоядерных реакциях с учетом образования примесных изотопов предложены наиболее перспективные каналы для промышленного производства указанных медицинских изотопов.



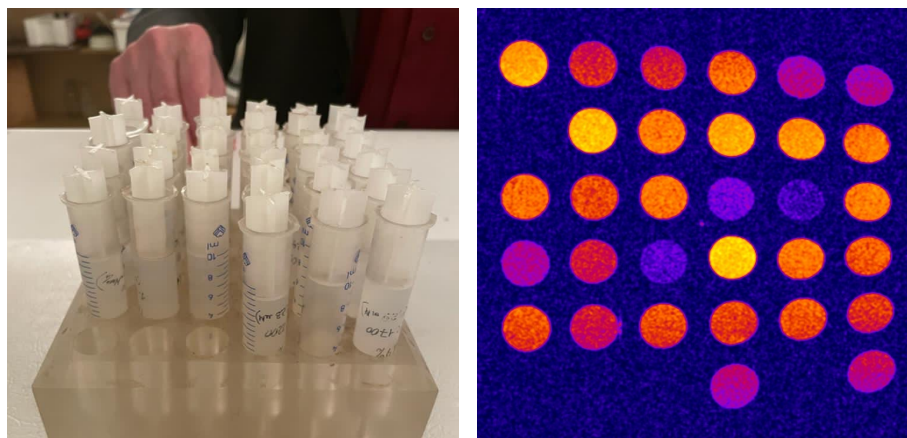
За 2023 год по этому направлению опубликованы **11 статей** в журналах Q2 и Q3, защищена **1 кандидатская диссертация**, **1 грант РНФ**

Исследование влияния дисторсии МРТ-изображений на планирование лучевой терапии

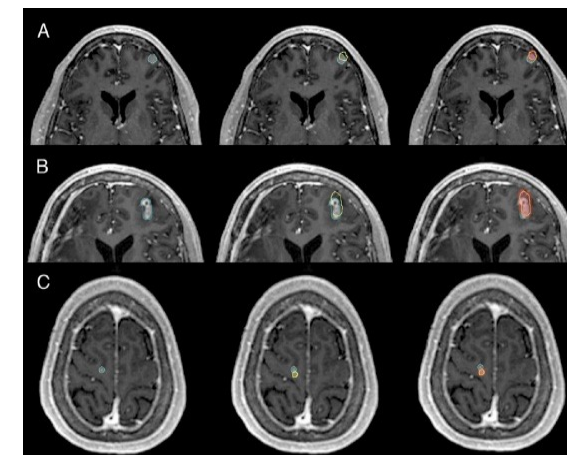
профессор Черняев А.П., м.н.с Лыкова Е.Н., зав. лаб. Студеникин Ф.Р., м.н.с. Щербаков А.А.

Исследование влияния

- режимов работы МРТ на величину искажений;
- величины магнитного поля на величину искажений;
- неоднородности магнитного поля на величину искажений.



Влияние неоднородности магнитного поля на величину искажений



Изменение линейных размеров опухоли из-за дисторсии МРТ-изображений

1. PO-1713 MLC analysis using exit detectors on TomoTherapy / D. A. Tovmasian, A. A. Loginova, A. P. Chernyaev A. V., Nechesnyuk, // *Radiotherapy and Oncology*.- 2023 Volume 182, Supplement 1, Page S1428, ISSN 0167-8140, [https://doi.org/10.1016/S0167-8140\(23\)66628-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8140(23)66628-9) (Импакт-фактор: SJR=1,946. Scopus, WoS, **Q1**)
2. Diffusion MRI: modeling and processing of images for planning of intracranial pathology radiotherapy / K.A. Pomozova, G.E. Gorlachev, A.P. Chernyaev, A.V. Golanov // *Radiotherapy and Oncology*. — 2023. — Vol.181. — P. S1398–S1399 (WoS Core Collection, Scopus, SJR=1,946, **Q1**).
3. High-speed low-noise optical respiratory monitoring for spot scanning proton therapy / M. Belikhin, A. Pryanichnikov, V. Balakin, A. Shemyakov, P. Zhogolev, A. Chernyaev // *Physica Medica*. – 2023. – Vol. 112. – P. 102612. – DOI: 10.1016/j.ejmp.2023.102612. (Scopus, IF = 3,4, **Q1**)
4. Measurements of the flux-weighted yields for (γ , α Xn) reactions on molybdenum and niobium / P.D. Remizov, M.V. Zheltonozhskaya, A.P. Chernyaev, et. al. // *European Physical Journal A*. — 2023. — Vol. 59, no. 141. (**Q2**, SJR 0.97)
5. Non-destructive method for determining the ^{63}Ni activity in reactor steels and alloys / M. V. Zheltonozhskaya, D. A. Iyusyuk, A. P. Chernyaev, T. Kovacs // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. — 2023. — no. 5. <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-023-08936-y> (Scopus, IF = 1.754, **Q2**)
6. Mechanochemical Synergism of Reactive Oxygen Species Influences on RBC Membrane / Kozlova E, Sergunova V, Sherstyukova E et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(6):5952. DOI:10.3390/ijms24065952. (Scopus, IF = 5.6, **Q1**)
7. Atomic Force Microscopy and High-Resolution Spectrophotometry for Study of Anoxemia and Normoxemia in Model Experiment In Vitro / Kozlova E., Sherstyukova E., Sergunova V. et al. // *International Journal of Molecular Sciences*, 24, 11043. DOI:10.3390/ijms241311043 (Scopus, IF = 5.6, **Q1**)
8. Electron beam modification for improving dose uniformity in irradiated objects / Studenikin F.R., Bliznyuk U.A., Chernyaev A.P. et al. // *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 2023. 232:1631–1635. DOI: 10.1140/epjs/s11734-023-00886-6. (SJR 0.597, IF = 2.8, **Q2**)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ И ДИАГНОСТИКЕ

профессор **Черняев А.П.**, профессор **Синицин В.Е.**, зав. лаб. **Студеникин Ф.Р.**, м.н.с. **Лыкова Е.Н.**, м.н.с. **Борщеговская П.Ю.**, м.н.с. **Золотов С.А.**, м.н.с. **А.А. Щербаков**

Возможные приложения:

- Возможность более высокого контроля качества терапии и диагностики;
- Высокая точность (95-98 %) описания КТ-снимка;
- Точное выделение области патологии с использованием нейронной сети;
- Высокая скорость описания КТ-снимков;
- Низкая себестоимость;
- Снятие нагрузки с врача путем организации и приоритизации потока пациентов.

**Совместно с ЛАМОД НИИЯФ МГУ*



Аккредитация специалистов по специальности «Медицинская физика»

С 2021 года сотрудники **ОЯФММП НИИЯФ МГУ** и кафедры физики ускорителей и радиационной медицины ОЯФ физического факультета МГУ являются основным разработчиком оценочных средств, которые будут использоваться при проведении *первичной специализированной аккредитации* специалистов по должности «Медицинский физик».

Физический факультет, НИИЯФ МГУ,
факультет фундаментальной
медицины МГУ



Совместно с методическим центром
аккредитации специалистов Сеченовского
университета

Структура аккредитации:

- 1 этап** - тестирование. 80 тестовых заданий из единой базы оценочных средств (2000 вопросов).
- 2 этап** - оценка 5 практических навыков (умений) в симулированных условиях.



МЕТОДИЧЕСКИЙ
ЦЕНТР АККРЕДИТАЦИИ
СПЕЦИАЛИСТОВ

Аккредитация специалистов по должности медицинская физика



Для проверки практических навыков отечественные разработчики из компаний ООО «РТ 7» и ООО «Градиация» предоставили специально разработанные учебные модули на основе своего программного обеспечения, которое используется в настоящее время, в том числе в отделениях лучевой терапии.

The screenshot displays two software windows used in medical physics. The left window, titled 'PLAN', shows a treatment planning interface with a central crosshair and various control panels. The right window, titled 'ПрофСкан', shows a dosimetry analysis interface with a graph of dose distribution and a table of parameters.

Энергия	Поле	Тип	РВП	Глубина
6 МВ	400x400 мм	Поперечный	100	300 мм
6 МВ	400x400 мм	Поперечный	100	14 мм
6 МВ	400x400 мм	Поперечный	100	100 мм
6 МВ	100x100 мм	Поперечный	100	50 мм
6 МВ	100x100 мм	Поперечный	100	100 мм
6 МВ	100x100 мм	Поперечный	100	200 мм
6 МВ	100x100 мм	Поперечный	100	300 мм

Анализ	Изменения
6 МВ	100x100 мм Поперечный

Параметр	Значение	Ед. изм.
Центр	0,05	мм
Размер поля	104,1	мм
Левая полутень	5,5	мм
Правая полутень	5,5	мм
Плътность	1,61	%
Симметрия	0,5	%

Интерфейс разработанных программ для проведения первичной специализированной аккредитации медицинских физиков

Образовательные программы

4 новые программы повышения квалификации по 18 часов

1. Практическое применение планирующих станций в дистанционной лучевой терапии
2. Методика создания проверочного плана с использованием дозиметрического фантома
3. Методика проверки индивидуального плана лечения пациента с использованием дозиметрического фантома
4. Практическое применение планирующих станций в контактной лучевой терапии

1 новая программа повышения квалификации на 144 часа

Локализация производства диагностического рентгеновского аппарата



В ОЯФММП НИИЯФ МГУ обратился индустриальный партнер с запросом на научно-исследовательское сопровождение производства диагностического рентгеновского аппарата.





Спасибо за внимание!

Контактные данные:

Феликс Студеникин – к. ф.- м. н., зав. лаб. РФ ОЯФММП НИИЯФ МГУ

Тел. 8 (495) 939-41-60

e-mail: studenikin@srd.sinp.msu.ru