



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «РАДМЕД»



«РадМед – 2024» 10 – 11 декабря 2024 года  
«РадМед – 2025» 9 – 10 декабря 2025 года  
г. Москва

## Сборник тезисов докладов



## **Организационный комитет**

*Садовничий Виктор Антонович*, (председатель) ректор Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, академик РАН

*Каприн Андрей Дмитриевич*, (заместитель председателя) президент ОНС «Ассоциация онкологов России», академик РАН

*Кортава Татьяна Владимировна*, (заместитель председателя) проректор – начальник Управления по работе с талантливой молодёжью МГУ, профессор, академик РАО

*Федянин Андрей Анатольевич*, (заместитель председателя) проректор – начальник Управления научной политики МГУ, профессор, член-корреспондент РАН

*Ткачук Всеволод Арсеньевич*, (заместитель председателя) декан факультета фундаментальной медицины МНОИ МГУ, академик РАН

*Белокуров Владимир Викторович*, (заместитель председателя) и.о. декана физического факультета МГУ, профессор

*Боос Эдуард Эрнстович*, (заместитель председателя) директор НИИЯФ МГУ, профессор, член-корреспондент РАН

*Воронцова Мария Владимировна*, заместитель директора по научной работе Медицинского научно-образовательного института МГУ, к.м.н., доцент

*Форш Павел Анатольевич*, заместитель декана по научной работе физического факультета МГУ, профессор

*Черняев Александр Петрович*, заведующий кафедрой физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, профессор

## **Рабочая группа организационного комитета**

*Стрелковская Анастасия Павловна*, (руководитель рабочей группы) инженер отдела по внеучебной работе и социальным вопросам физического факультета МГУ

*Деревенец Елизавета Николаевна*, аспирант факультета почвоведения МГУ

*Золотов Сергей Александрович*, младший научный сотрудник кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ

*Ипатова Виктория Сергеевна*, младший научный сотрудник лаборатории радиационной медицинской физики ОЯФММП НИИЯФ МГУ

*Ким Андрей Александрович*, младший научный сотрудник кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ

*Козлов Иван Александрович*, магистрант факультета почвоведения МГУ

*Рубекина Анна Александровна*, младший научный сотрудник кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ

*Щербаков Алексей Александрович*, младший научный сотрудник кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ

## **Программный комитет**

*Черняев Александр Петрович*, (сопредседатель) заведующий кафедрой физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, заведующий отделом ядерно-физических методов в медицине и промышленности НИИЯФ МГУ, профессор

*Синицын Валентин Евгеньевич*, (сопредседатель) заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины Медицинского научно-образовательного института МГУ, профессор

*Доможирова Алла Сергеевна*, (сопредседатель) заместитель председателя Комитета ОНС «Ассоциация онкологов России» по медицинской физике, доцент, д.м.н.

*Студеникин Феликс Рикардович*, (заместитель председателя) заведующий лабораторией радиационной медицинской физики ОЯФММП НИИЯФ МГУ, к.ф.-м.н.

*Зимакова Екатерина Игоревна*, (заместитель председателя) ассистент кафедры терапии факультета фундаментальной медицины МНОИ МГУ, к.м.н.

*Близнюк Ульяна Александровна*, заведующая лабораторией радиационной обработки биообъектов и материалов ОЯФММП НИИЯФ МГУ, д.ф.-м.н.

*Борщевская Полина Юрьевна*, доцент кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, к.ф.-м.н.

*Еременко Дмитрий Олегович*, заместитель директора по научной работе НИИЯФ МГУ, заведующий отделом ядерных реакций НИИЯФ МГУ, д.ф.-м.н.

*Желтоножская Марина Викторовна*, старший научный сотрудник кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, д.ф.-м.н.

*Козлова Елена Карловна*, профессор кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, д.ф.-м.н.

*Кузнецов Александр Александрович*, заместитель директора по учебной работе НИИЯФ МГУ, к.ф.-м.н.

*Лаптинский Кирилл Андреевич*, научный сотрудник Лаборатория адаптивных методов обработки данных НИИЯФ МГУ, к.ф.-м.н.

*Лыкова Екатерина Николаевна*, доцент кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, к.ф.-м.н.

*Розанов Владимир Викторович*, профессор кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, д.б.н.

*Шемухин Андрей Александрович*, заместитель директора по научной работе НИИЯФ МГУ, заведующий лабораторией ионно-пучковых нанотехнологий НИИЯФ МГУ, к.ф.-м.н.

*Ширишин Евгений Александрович*, доцент кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ, д.ф.-м.н.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

---

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «РАДМЕД»

---

**I Международный молодежный научный форум  
«РАДМЕД-2024»**

*10–11 декабря 2024 года*



**II Международный молодежный научный форум  
«РАДМЕД-2025»**

*9–10 декабря 2025 года*

**Сборник тезисов докладов**



---

МОСКВА – 2025



Ответственные редакторы:

*Ф.Р. Студеникин* – к.ф.-м.н., зав. лабораторией радиационной медицинской физики ОЯФММП НИИЯФ МГУ;  
*Е.И. Зимакова* – к.м.н., ассистент кафедры терапии факультета фундаментальной медицины МНОИ МГУ

М43 **Международный молодежный научный форум «РАДМЕД» : I Международный молодежный научный форум «РАДМЕД-2024», декабрь 2024 г.; II Международный молодежный научный форум «РАДМЕД-2025», декабрь 2025 г.** Москва, МГУ : сборник тезисов докладов / Отв. редакторы Ф.Р. Студеникин, Е.И. Зимакова. – Москва : МАКС Пресс, 2025. – 134 с.

ISBN 978-5-317-07516-3

<https://doi.org/10.29003/m4999.978-5-317-07516-3>

9–10 декабря 2025 г. в МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке ОНС «Ассоциация онкологов России» (АОР) и Российской Академии Образования (РАО) состоялся II Международный молодежный научный форум «РадМед-2025». Форум, приуроченный к празднованию 270-летия МГУ имени М.В. Ломоносова, объединил специалистов в области медицинской физики, радиотерапии, ядерной медицины, лучевой диагностики и был посвящён актуальным вопросам применения радиационных технологий для медицины и охраны здоровья.

Приняли участие представители из 23 регионов России, включая г. Москву и Московскую область, г. Санкт-Петербург, Республики Башкортостан, Татарстан, Саха (Якутия), Коми, Ингушетия, Крым, Краснодарский край, Самарскую область, города Белгород, Волгоград, Воронеж, Донецк, Иркутск, Нижний Новгород, Саратов, Обнинск, Петрозаводск, Тамбов, Томск, Тюмень, а также из Республики Узбекистан. В семи регионах работали дистанционные площадки для участников и докладчиков Форума.

Всего на пленарных и секционных заседаниях представлено 87 докладов по результатам работ ученых и специалистов институтов РАН, ВУЗов, медицинских и научных учреждений, предприятий, фирм и компаний из более чем 15 городов Российской Федерации и стран СНГ.

В настоящий сборник вошли тезисы докладчиков за два года работы Форума: РАДМЕД-2024, РАДМЕД-2025 по таким направлениям, как Лучевая терапия и лучевая диагностика; Искусственный интеллект в медицине; Цифровые технологии для мониторинга здоровья; Радиационная обработка биообъектов и материалов; Отечественные разработки в медицинской физике.

**Ключевые слова:** медицина, медицинская физика, радиационные технологии, искусственный интеллект, лучевая диагностика, лучевая терапия, радиобиология, мониторинг здоровья, радиационная обработка.

УДК 531/534+539:004.89:577.346:615/849  
ББК 22.3:53.6:54.1/57.4стд2-56

# Содержание

## **I МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «РАДМЕД-2024»**

<b>Секция 1. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МЕДИЦИНЕ .....</b>	<b>13</b>
ЧАТ-БОТЫ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УРОЛОГИИ. МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?	
Арутюнян П.А. ....	14
ЗНАЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ ГЛАЗАМИ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА	
Книсарина М.М. ....	15
ЦЕННОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ	
Сергеева Т.Н. ....	19
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ НАТИВНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ИШЕМИЧЕСКОГО И ГЕМОМРАГИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА	
Соломинова Т.А. ....	20
ВОЗМОЖНОСТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОСТАНОВКИ ДИАГНОЗА ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	
Сустатова А.Н. ....	23
<b>Секция 2. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ .....</b>	<b>25</b>
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ПАЦИЕНТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ	
Афонин В.Д., Лантух З.А. ....	26
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ	
Федорова С.А. ....	27
PROGRAM FOR MONITORING SPONTANEOUS SPEECH IN APHASIA	
Лехницкая П.А. ....	29
РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ОСАНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ВИДЕОФИКСАЦИИ	
Смирнова В.В. ....	30
<b>Секция 3. РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА БИООБЪЕКТОВ И МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>33</b>
META-ANALYTICAL EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS FROM EXPOSURE OF NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS FROM SOILS AT GOLD MINES	
Awuah Collins ....	34
ВОЗДЕЙСТВИЕ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА АКТИВНОСТЬ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ	
Шимко П.А. ....	35
НОВЫЙ ПОДХОД К РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	
Зубрицкая Я.В. ....	37
КИНЕТИКА ПРЕВРАЩЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В БИООБЪЕКТЕ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ	
Ипатова В.С. ....	38

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ СОРТОВ ГАЛА И ФИОЛЕТОВЫЙ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ И РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ПРОФИЛЬ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КЛУБНЯХ НОВОГО УРОЖАЯ Межетова И.Т. ....	39
<b>Секция 4. ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ И ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА .....</b>	<b>41</b>
ОЦЕНКА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ПРИ НАЛИЧИИ ИМПЛАНТОВ В ВИДЕ КОРОНОК Андреев М.Р. ....	42
ПРИМЕНЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ Дадагов Д.А. ....	42
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ МНОЖЕСТВЕННЫХ МЕТАСТАЗОВ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ Кобякова Т.А. ....	44
НОВЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ ФТОРИДА ЦЕРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ФЛАВИНМОНОНУКЛЕОТИДОМ, ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ Корниенко А.И. ....	45
ДОСТИЖЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ Маслахова А.А. ....	47
ОБЗОР ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ, СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КЛИНИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ Рябова Е.А. ....	48
КИНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ГЕМАТОМИОКАРДИАЛЬНОГО БАРЬЕРА У ПАЦИЕНТОВ С МНОГОСОСУДИСТЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ Василевич К.В. ....	49
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ, ВОЗНИКАЮЩИХ В КОЛЛИМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРОТОННОГО УСКОРИТЕЛЯ Жаринов И.Ф. ....	50
ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ Зеленова С.А. ....	52
ОЦЕНКА ВНУТРИФРАКЦИОННОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ДОЗЫ ПРИ ОБЪЕМНО- МОДУЛИРОВАННЫХ ПЛАНАХ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОПУХОЛЯМИ ГОЛОВЫ И ШЕИ Зотова Н.А. ....	53
ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЖИТЕЛЕЙ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ В 2012–2022 гг. Симонова В.Г. ....	57
ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ВТОРИЧНЫХ РАКОВ ПАЦИЕНТОВ, ПРОШЕДШИХ ЛУЧЕВУЮ ТЕРАПИЮ Храмов И.В. ....	58
<b>Секция 5. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ В МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКЕ.....</b>	<b>59</b>
ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ Кублинская Ю.А. ....	60

## ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ПАЦИЕНТОВ В ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

Садовски К.А. ....	61
РАЗРАБОТКА КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ТСР/NTСР	
Сорокина А.А. ....	64

## II МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «РАДМЕД-2025»

### Секция 1. МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ..... 67

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРОВЬ ПАЦИЕНТОВ С ДИАГНОЗОМ РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ	
Гоголева Т.Е., Мамаева С.Н., Максимов Г.В. ....	68

### ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛЕГКОГО

Копылова Е.А., Горлачев Г.Е., Лыкова Е.Н., Новикова Е.А., Назаренко А.В., Черняев А.П. ....	69
---	----

### МЕТОД БЫСТРОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Ларионов А.А., Ющенко О.П. ....	70
---------------------------------	----

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ФАКТИЧЕСКОЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ВО ВРЕМЯ КУРСА РАДИОТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОНУСНО-ЛУЧЕВОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Лисовская А.О., Строженков М.М., Нечеснюк А.В., Логинова А.А. ....	71
--	----

### ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАНОВ ТАРГЕТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ТЕЛА И КОСТНОГО МОЗГА К ВАРИАЦИЯМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТА

Логинова А.А., Жаркова А.О., Курмышева Ю.М., Нечеснюк А.В. ....	72
---	----

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ БРАХИТЕРАПИИ

Новикова Е.А., Горлачев Г.Е., Копылова Е.А., Лыкова Е.Н. ....	74
---	----

### ГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА ФИЗИЧЕСКОГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ: ФУНКЦИОНАЛ, ИДЕОЛОГИЯ, ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

Парменова Е.В., Ющенко О.П. ....	75
----------------------------------	----

### ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА СИСТЕМ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ: СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД

Соловьев А.Н., Кизилова Я.В., Чернуха А.Е., Казаков Е.И., Сабуров В.О., Корякин С.Н. ....	76
---	----

### ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ЯЗЫКА ПРИ НАЛИЧИИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИМПЛАНТОВ И КОРОНОК В ПОЛОСТИ РТА

Титова Л.В., Андреев М.Р., Вахтель В.М., Любашевский Д.Е., Щербина Ю.Д., Беляев Ю.И. ....	77
---	----

### Секция 2. ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА ..... 79

### РАЗРАБОТКА АПТАМЕР-МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ РАДИОМЕДИЦИНЫ

Осминкина Л.А., Попов А.Л., Тюрин-Кузьмин П.А., Назаровская Д.А., Перетыкин А.А., Лукан Н.А., Васильева М.И., Колманович Д.Д., Цурикова У.А., Гончар К.А., Винник Д.Е., Шматченко В.М., Стяжкина Е.В., Кудрявцев А.А., Кичкайло А.С., Пряхин Е.А. ....	80
--	----



КОНЬЮГАТ ЭНДОМЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНА ЛЮТЕЦИЯ С ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ И ФОЛИЕВОЙ КИСЛОТОЙ ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ	
Титова А.В., Федорова Ю.А., Арутюнян А.В., Седов В.П., Лыхолай А.Н., Борисенкова А.А. ....	81
РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОЙОДТЕРАПИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО РАКА ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ	
Трухин А.А., Юдаков Д.В., Фролов К.В., Ярцев В.Д., Дубровина Е.И., Абдуллаев С.А., Мальцев М.С., Гришков С.В. ....	82
ПРОИЗВОДСТВО ТЕРБИЯ-161 В НИЦ КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ	
Фуркина Е.Б., Алиев Р.А. ....	83
<b>Секция 3. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ .....</b>	<b>85</b>
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАРКЕРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	
Захарчук С.А. ....	86
НОСИМЫЙ СЕНСОРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС КОПИРУЮЩЕГО ТИПА НА ОСНОВЕ ТЕНЗОРЕЗИСИВНЫХ И ИНЕРЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ	
Маликова А.А., Брико А.Н. ....	88
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫПОЛНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ	
Шергин И.А. ....	89
ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ МОЛОДЁЖИ	
Зимакова Е.И. ....	91
<b>Секция 4. РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА БИООБЪЕКТОВ И МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>93</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАДИОЗАЩИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ	
Вагин К.Н., Галлямова М.Ю., Рахматуллина Г.И., Фролов А.В., Юнусов И.Р. ....	94
ДВУХЭТАПНЫЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ БИООБЪЕКТОВ	
Золотов С.А., Ипатова В.С., Близнюк У.А., Борщegovская П.Ю., Никитченко А.Д., Зубрицкая Я.В., Козлова Е.К., Черняев А.П., Родин И.А. ....	95
ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ШЕРСТНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ У ОВЕЦ	
Ишмухаметов К.Т., Курбангалеев Я.М., Шакуров М.М., Плотникова Э.М., Гайнутдинов Т.Р. ....	96
РАДИАЦИОННАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ МЯСА, ЗАРАЖЕННОГО ВЕГЕТАТИВНЫМИ И СПОРОВЫМИ ФОРМАМИ МИКРОБОВ	
Курбангалеев Я.М., Гайнутдинов Т.Р., Вагин К.Н., Спиридонов Г.Н., Махмутов А.Ф. ....	97
РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ, БИОТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ	
Лютова Ж.Б. ....	99
ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ОЗОННО-РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ И СТЕРИЛИЗАЦИИ ДРЕВНИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ	
Николаева Н.А., Розанов В.В., Черняев А.П. ....	101
ОБРАБОТКА УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ И ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ С ЦЕЛЬЮ УДАЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОВ	
Опруненко А.Ю., Близнюк У.А., Ипатова В.С., Никитченко А.Д., Черняев А.П., Ананьева И.А., Родин И.А. ....	102

РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ КАК МЕТОД НАПРАВЛЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ	
Попугаев А.В., Лютова Ж.Б. ....	103
ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЯЧМЕНЯ К СВИНЦУ	
Празян А.А., Смирнова А.С., Битаршвили С.В., Лыченкова М.А., Гераськин С.А. ....	104
АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В ЗАРОДЫШАХ ЯЧМЕНЯ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В ОТВЕТ РАСТЕНИЙ НА РАЗДЕЛЬНОЕ И СОЧЕТАННОЕ ДЕЙСТВИЕ $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ И СВИНЦА	
Смирнова А.С., Празян А.А., Блинова Я.А., Шубина С.И., Горбатова И.В., Минкенова К.С., Гераськин С.А. ....	106
МОДЕЛЬНОЕ РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	
Хуцистова А.О., Розанов В.В., Матвейчук И.В., Черняев А.П., Николаева Н.А. ....	107
ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ	
Чуликова Н.С., Малюга А.А., Енина Н.Н., Голощапов С.А., Близнюк У.А., Родин И.А. ....	109
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА УСКОРИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОНОВ	
Шимко П.А., Близнюк У.А., Золотов С.А., Лазенкова И.В., Черняев А.П. ....	110
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЛАКТОФЕРРИНА И КОМПОЗИЦИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ МЕТОДОМ ИММУНОФЕРМЕНТНОГО АНАЛИЗА	
Шубина А.В., Лютова Ж.Б. ....	112
<b>Секция 5. НЕИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ</b> .....	<b>115</b>
ПРИМЕНЕНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ГИПОФИЗА В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ДЛЯ НАВИГАЦИИ В НЕЙРОХИРУРГИИ	
Алибаева В.М. ....	116
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С ДИАГНОЗОМ РАК ШЕЙКИ МАТКИ И РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕТОДАМИ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И ИММУНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА	
Крылова Т.А., Мамаева С.Н., Алексеев В.А., Максимов Г.В. ....	117
ПРИМЕНЕНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ СЫВОРОТКИ КРОВИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ	
Нургалиева П.К. ....	118
БЕСКОНТАКТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ИМПУЛЬСНОГО ФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКА	
Пономарчук Е.М., Цысарь С.А., Сапожников О.А., Хохлова В.А. ....	119
СПЕКТРОСКОПИЯ ДИФFUЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТКАНЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ДИССЕКЦИИ КИШКИ	
Ширяев С.О. ....	121
ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ В ОНКОЛОГИИ	
Эфендиев К.Т., Алексеева П.М., Лощенов В.Б. ....	122

---

<b>Секция 6. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ.....</b>	<b>124</b>
ДИАГНОСТИКА ОСТРОГО ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПО ДАННЫМ БЕСКОНТРАСТНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ Азнаурова Ш.А., Кремнева Е.И., Арзамасов К.М., Владимирский А.В. ....	125
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МРТ-ДИАГНОСТИКЕ НОВООБРАЗОВАНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА Блинова З.М., Доможирова А.С., Арзамасов К.М. ....	126
КЛИНИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ДЛЯ ОКОНТУРИВАНИЯ ОРГАНОВ РИСКА В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ Кобякова Т.А., Студеникин Ф.Р., Лыкова Е.Н., Глухов И.С. ....	127
ИИ ПРОТИВ РУТИНЫ: ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЗАДАЧ ОКОНТУРИВАНИЯ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ Федосеенко Ю.А., Хромов С.С., Черных М.В. ....	129
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ДИАГНОСТИКЕ НОВООБРАЗОВАНИЙ (ИНЦИДЕНТАЛОМ) НАДПОЧЕЧНИКОВ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ: АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ Шихмурадов Д.У., Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Доможирова А.С., Арзамасов К.М. ....	131

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

**I МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ  
РАДМЕД-2024**

Декабрь 2024 года

**Сборник тезисов докладов**

Москва  
2024



# Секция 1

## Искусственный интеллект в медицине

10 декабря 2024. Лекторий коворкинга 1 учебного корпуса МГУ

**Председатели секции:** зав. каф. лучевой диагностики и терапии ФФМ МНОИ МГУ, профессор В.Е. Сеницын; директор инженерно-физического института биомедицины НИЯУ МИФИ А.А. Гармаш; зав. лабораторией РМФ ОЯФММП НИИЯФ МГУ Ф.Р. Студеникин

## ЧАТ-БОТЫ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УРОЛОГИИ. МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Арутюнян Павел Арменович

Аспирант

*Московский государственный медико-стоматологический университет  
имени А.И. Евдокимова, Москва, Россия*

E-mail: dr.p.arutyunyan@gmail.com

**ВВЕДЕНИЕ:** В век цифровизации трудно переоценить возможности и пользу Интернет-технологий и сервисов. Около 1.5 миллиарда человек по всему миру используют чат-боты на основе искусственного интеллекта (ИИ), в том числе для поиска информации на темы, связанные со здоровьем. Однако, качество и точность информации, связанной со злокачественными урологическими новообразованиями, полученной при помощи зарубежных и отечественных чат-ботов на основе ИИ не оценивалась с помощью валидированных инструментов. Также, для оценки качества медицинской информации, необходимо выявить статистически значимые поисковые запросы на территории РФ, связанные с наиболее распространёнными новообразованиями в урологии: рак предстательной железы (РПЖ), рак мочевого пузыря (РМП).

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Оценить качество и достоверность информации чат-ботов на основе ИИ о злокачественных новообразованиях в урологии на самые распространённые поисковые запросы в РФ.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** По результатам анализа веб-трафика, самые распространённые запросы, связанные с РПЖ и РМП включает в себя: одноименные запросы заболеваний, симптомы и лечение. Три наиболее часто встречающихся поисковых запроса по каждому онкоурологическому заболеванию были введены с использованием точной формулировки запроса в актуальную общедоступную версию четырёх чат-ботов на основе ИИ от 09.10.2023: ChatGPT, Perplexity, YaGPT и GigaChat. Для всех чат-ботов использовались настройки по умолчанию. Для оценки качества медицинской информации, использован валидированный оценочный инструмент DISCERN, который был адаптирован и переведен на русский язык. Для экспертной оценки с помощью инструмента DISCERN были привлечены онкоурологи со стажем работы на территории РФ более 5 лет. Ответы чат-ботов не содержали сведений о том, какой из сервисов сформировал текстовый результат.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Нами были получены и проанализированы результаты оценки 50 онкоурологов с помощью шкалы DISCERN, значения представлены в таблице.

Таблица 1.1: Результаты оценки чат-ботов по шкале DISCERN

	ChatGPT	Plexi	YaGPT	GigaCHAT
Среднее значение раздела № 1 (достоверность)	2.8	3.8	1.2	2.5
Среднее значение раздела № 2 (качество)	2.0	2.2	1.0	1.8
Среднее значение	2.4	3.0	1.1	2.2

Среднее значение по шкале DISCERN для всех чат-ботов на основе ИИ составило 2.17 (мин. 1,1; макс. 3.0). В разделах достоверность и качество средние результаты составили 2.6 (мин. 1,2; макс. 3,8) и 1.75 (мин. 1.0; макс. 2.2) соответственно. Все чат-боты при генерации информации допускали ошибки и неточности в разной степени. Три из четырех чат-ботов в своих ответах призывали обратиться за консультацией к врачу.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Чат-боты на основе ИИ уже сегодня становятся актуальным инструментом для поиска информации, в том числе медицинской. Формирование медицинских ответов должно исключать ошибки и дезинформацию, а вся генерируемая информация подкреплена ссылками на авторитетные источники. Для успешной разработки сервисов соответствующим вышеперечисленным критериям, важно на этапе создания чат-ботов придерживаться основных принципов при создании программного решения. Эти принципы были сформулированы и опубликованы авторами ранее в рамках реализации Проекта Московского центра инновационных технологий в здравоохранении (заявка № 2802-19/23). Развитие подобных технологий и сервисов требует наличия квалифицированных кадров, технической инфраструктуры и стандартизации рабочих процессов разработки программного обеспечения.

## ЗНАЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ ГЛАЗАМИ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА

**Книсарина Малика Максатовна**

*Западно-Казахстанский государственный медицинский университет  
имени Марата Оспанова, Актобе, Казахстан*

E-mail: uku\_malika@mail.ru

**ВВЕДЕНИЕ.** Данная научная работа посвящена определению значения искусственного интеллекта в медицине глазами обучающихся медицинского университета.

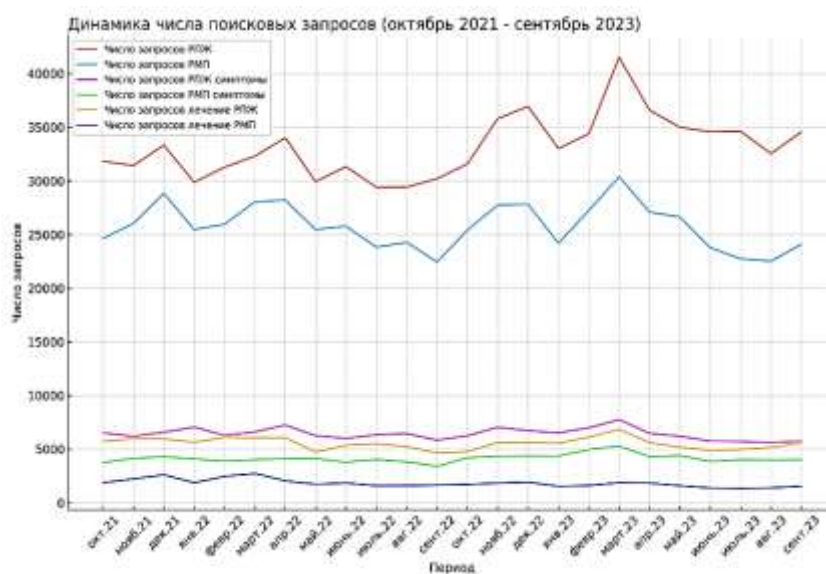


Рис. 1.1: Динамика частотности запросов «рак предстательной железы, рак мочевого пузыря, симптомы рака предстательной железы, симптомы рака мочевого пузыря, лечение рака предстательной железы, лечение рака мочевого пузыря», по месяцам, 01.10.2021–30.09.2023

Общеизвестно, что Искусственный интеллект (ИИ) — это способность созданных человеком интеллектуальных систем выполнять творческие задачи, которые традиционно считаются свойственными человеку. По мнению зарубежного ученого, ИИ тесно связан с задачей использования компьютеров для понимания человеческого интеллекта, но не ограничивается исключительно биологическими методами [1].

В последние годы технологии искусственного интеллекта стали неотъемлемой частью нашей жизни, проникнув во все её сферы, включая медицину. Особенно важным



представляется использование ИИ в лечении внутренних заболеваний, которые затрагивают внутренние органы и системы организма.

Термин «ИИ в медицине» описывает применение алгоритмов машинного обучения и программного обеспечения для имитации человеческого познания в анализе, представлении и понимании сложных медицинских данных. Кроме того, целью является преодоление человеческих возможностей и предоставление новых способов диагностики, лечения и профилактики заболеваний.

Основной задачей медицинских приложений ИИ является анализ взаимосвязи между клиническими данными пациентов и результатами их лечения. Поэтому общепринято определять ИИ, как технологию, применяемую в различных областях здравоохранения, включая диагностику, разработку протоколов лечения и лекарств, персонализированную медицину, а также мониторинг и уход за пациентами.

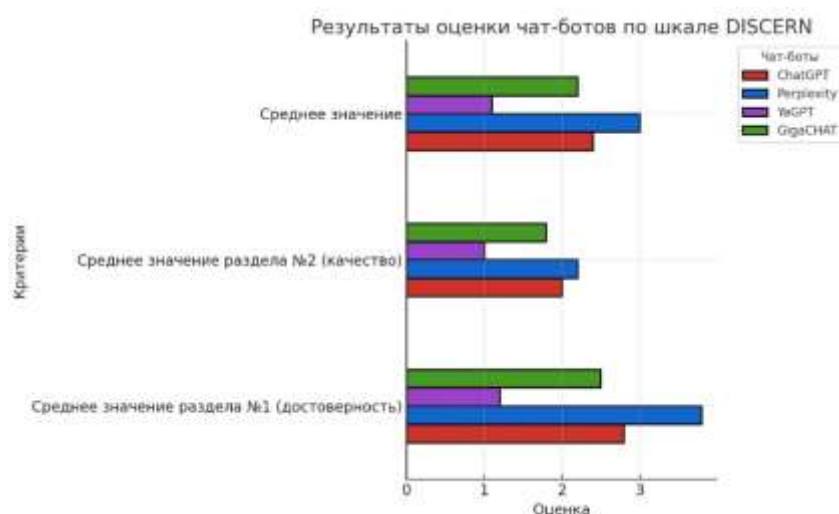


Рис. 1.2: Результаты оценки чат-ботов по шкале DISCERN

Ключевой особенностью ИИ является его способность собирать огромные объемы разноплановых данных, обрабатывать их и предоставлять конечным пользователям четкие и обоснованные результаты. Это делает его особенно эффективным инструментом для решения сложных задач в медицине.

Программы на основе ИИ позволяют значительно ускорить процесс разработки новых лекарств, уменьшить количество ошибок, предоставлять данные в режиме реального времени, экономить время врачей, помогать в проведении исследований и улучшать взаимодействие между врачом и пациентом [2].

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ:** Научно-теоретическое изучение данной проблемы позволило нам выделить следующие ключевые аспекты применения ИИ в здравоохранении, его возможности и вызовы:

1. Точность диагностики и снижение ошибок. Искусственный интеллект позволяет значительно улучшить точность диагностики, особенно в областях, где анализ изображений имеет критическое значение, например, в радиологии и онкологии. Машинное обучение и глубокие нейронные сети используются для анализа рентгеновских снимков, компьютерной томографии и МРТ с целью выявления опухолей и других аномалий, которые сложно обнаружить с помощью традиционных методов. Например, исследования показывают, что алгоритмы ИИ могут выявлять рак груди на маммограммах с точностью, сопоставимой с профессиональными радиологами.

2. Персонализированное лечение. ИИ помогает индивидуализировать лечение, подстраивая его под конкретные потребности пациента. Система анализирует генетические данные, историю болезни и образ жизни пациента, чтобы предложить оптимальную схему

терапии. Такой подход уже применяется в онкологии, где точная терапия рака становится возможной благодаря анализу молекулярных профилей пациентов.

3. Прогнозирование заболеваний и поддержка принятия решений. Искусственный интеллект позволяет предсказать развитие заболеваний на основе анализа данных медицинской карты пациента. Прогностические модели с использованием ИИ помогают предсказывать развитие сердечно-сосудистых заболеваний, диабета и других хронических заболеваний. Системы поддержки принятия решений на основе ИИ дают врачам рекомендации, но финальное решение оставляют за специалистом.

4. Этические вопросы и вопросы конфиденциальности. Применение ИИ в медицине связано с важными этическими и правовыми вызовами. В первую очередь это касается конфиденциальности данных пациентов, так как алгоритмы требуют доступа к большому объему персональных медицинских данных для обучения и оптимизации. Другим аспектом является ответственность за ошибки ИИ, так как в случае диагностической ошибки не всегда ясно, кто должен нести ответственность — врач, использующий систему, или разработчик программы.

5. Подготовка кадров. Для успешного внедрения ИИ в медицине требуется подготовка специалистов, которые смогут работать с этими технологиями. Исследования показывают, что врачи, прошедшие обучение по ИИ, чувствуют себя увереннее в использовании технологий и принимают более взвешенные решения. В этом плане, по нашему мнению, важно включение курсов по ИИ в программы медицинских вузов.

Исследование вопроса о значении искусственного интеллекта (ИИ) в медицинской практике стратегий обучающейся молодежи в рамках научного проекта ИРН AP19678139 «Оценка социально-психологических возможностей интенсивного роста благополучия обучающейся молодежи в Западном Казахстане» потребовало проведение эксперимента для изучения мнений студентов Западно-Казахстанского медицинского университета имени Марата Оспанова» (Актобе, Казахстан) методом опроса на добровольных началах и с соблюдением принципа конфиденциальности в Google Forms.

В ходе исследования были получены ответы на вопросы, касающиеся осведомленности и заинтересованности студентов различных медицинских специальностей в применении технологий искусственного интеллекта.

Большинство опрошенных студентов образовательных программ как «Педиатрия», «Медицина», «Стоматология», «Сестринское дело» и «Общественное здравоохранение», продемонстрировали высокий уровень интереса к технологиям искусственного интеллекта. Особенно это касается областей медицины, где применение ИИ уже широко распространено — радиология, онкология и дерматология.

Результаты опроса показали, что около 80% студентов проявляют интерес к искусственному интеллекту, а 65% считают, что он станет неотъемлемой частью медицинской практики в ближайшие 10 лет.

Также было выявлено, что студенты доверяют ИИ как инструменту для диагностики: примерно 70% респондентов считают, что искусственный интеллект способен значительно повысить точность диагностики, особенно в сложных случаях, требующих детального анализа изображений или больших массивов данных. Однако только 40% студентов считают, что ИИ может самостоятельно назначать лечение без вмешательства врача.

В результате опроса или анкетирования было выделено несколько ключевых преимуществ ИИ, которые особенно важны для студентов:

$\frac{3}{4}$  Точность и скорость: около 85% студентов отметили, что ИИ помогает значительно ускорить процесс анализа данных.

$\frac{3}{4}$  Снижение нагрузки: более 75% указали на возможность уменьшения административной работы за счёт автоматизации рутинных задач, таких как ввод данных и документирование.

Примерно 60% студентов выразили беспокойство по поводу этических аспектов, связанных с применением ИИ, таких как конфиденциальность данных пациентов и ответственность за ошибки, допущенные ИИ. Около 50% участников эксперимента отметили, что вопросы этики требуют более тщательной регуляции, прежде чем ИИ сможет широко применяться в медицинской практике.

Большинство студентов (около 90%) выразили готовность изучать принципы работы ИИ, чтобы понимать его сильные и слабые стороны. Также 70% опрошенных считали, что включение курсов по ИИ в учебную программу медицинских вузов повысит их готовность к будущей работе.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Результаты эксперимента показывают, что студенты медицинских вузов в целом положительно относятся к использованию ИИ, видят в нем потенциал для улучшения диагностики и снижения нагрузки на врачей. В то же время они отмечают важность этических стандартов и дополнительного обучения.

Учитывая оптимальное количество студентов в размере 200–400 человек для опроса, мы постарались охватить в эксперименте по изучению их отношения к ИИ в медицине медицинского вуза около 200 человек, что обеспечивает достаточную точность и представительность данных.

Равномерное представительство: было решено уравнивать количество участников опроса в связи с разным курсом и факультетом, чтобы учесть возможные различия в восприятии ИИ у более старших и младших студентов.

Таким образом, ИИ становится неотъемлемой частью медицины, и студенты медицинских вузов, как будущие врачи, рассматривают его с разных точек зрения, отмечая как его преимущества, так и вызовы, которые он приносит.

1. Точность диагностики. Студенты видят, что ИИ повышает точность диагностики, особенно в области радиологии, офтальмологии и онкологии. Алгоритмы машинного обучения могут обрабатывать огромные объемы данных и выявлять мелкие детали на изображениях, которые человек может пропустить. Это помогает врачам быстрее и точнее ставить диагноз, что улучшает исходы лечения.

2. Ускорение процессов. ИИ может автоматизировать рутинные задачи, такие как обработка данных пациентов и анализ результатов лабораторных исследований. Это высвобождает время врачей, позволяя им сосредоточиться на более сложных клинических случаях и повышать качество взаимодействия с пациентами.

3. Индивидуализация лечения. ИИ помогает персонализировать подход к каждому пациенту. Например, анализируя генетические данные, анамнез и образ жизни, ИИ может предложить индивидуальные схемы лечения и профилактики. Студенты понимают, что такой подход повышает эффективность терапии и снижает риск побочных эффектов.

4. Этические и правовые аспекты. Многие студенты отмечают важность этических вопросов, связанных с ИИ, таких как конфиденциальность данных, безопасность и ответственность за медицинские решения. ИИ не заменяет врачей, но его роль в принятии решений требует ясных этических и правовых рамок, что вызывает интерес к юридическим аспектам медицины.

5. Обучение и развитие. ИИ также меняет образовательный процесс, предлагая новые возможности для тренировки навыков. Виртуальные симуляторы на основе ИИ позволяют студентам отрабатывать различные клинические сценарии в безопасной среде, что повышает их уверенность и компетентность.

Таким образом, студенты медицинских вузов рассматривают ИИ как мощный инструмент, способный улучшить медицину, оптимизировать рабочий процесс и повысить качество лечения. В то же время они осознают важность сочетания технологий и человеческого подхода, а также необходимость соблюдения этических принципов в применении ИИ.

БЛАГОДАРНОСТЬ: ИРН AP19678139 «Оценка социально-психологических возможностей интенсивного роста благополучия обучающейся молодежи в Западном Казахстане», финансируемый Комитетом науки МНВО РК.

Эти материалы обосновывают значимость ИИ в медицине, раскрывая его перспективы и подчеркивая необходимость в подготовке специалистов и соблюдении этических норм.

### Источники и литература

1. McCarthy J. What is artificial intelligence? URL: <https://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf> (дата обращения 27.09.2024).
2. Srivastava R. Applications of artificial intelligence in medicine. *Explor Res Hypothesis Med*. Published online: Sep. 19, 2023. <https://doi.org/10.14218/ERHM.2023.00048>.

## ЦЕННОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ

Сергеева Татьяна Николаевна

Аспирант

*Московский государственный институт международных отношений,  
Международно-правовой факультет, Москва, Россия*

E-mail: [tnsergeeva@yandex.ru](mailto:tnsergeeva@yandex.ru)

В современном мире с развитием информационных технологий искусственный интеллект с помощью компьютера разумно мыслит как человек.

По мнению Дж. Маккарти «Искусственный интеллект — это наука и технология создания интеллектуальных машин, в частности компьютерных программ. ИИ не ограничивается методами решения задач, которые есть у человека. Это связано с задачей моделирования человеческого интеллекта, однако мы пока не можем охарактеризовать, какие виды вычислительных процедур мы можем назвать интеллектуальными». Однако, по мнению Дж.Люгера, профессор отдела компьютерных наук Университета Нью-Мексико, определяет искусственный интеллект как "область компьютерных наук, занимающуюся автоматизацией разумного поведения.

По мнению автора, искусственный интеллект постепенно с помощью информационных технологий внедрился во все сферы человеческой жизнедеятельности. И так с помощью информационных технологий происходит передача, хранение, применение информации для сотрудничества и коммуникаций. Философия искусственного интеллекта в современном мире с одной стороны упростить жизнь обществу, а с другой стороны сделать его «заложником» собственной лени выполнять обыденное собственными силами благодаря информационным технологиям. Что приводит к деградации личности и индивидуальности. Все общество становится под влиянием развития искусственного интеллекта одинаковым и похожим на роботов. Человек с появлением искусственного интеллекта перестает думать самостоятельно так как за него многие функции выполняет машина. А именно персональный компьютер. Ведь если вернуться в историю машина создана для общества для упрощения и помощи общества нахождения информации и ее систематизации. Тем самым необходимо понимать, что искусственный интеллект никогда не заменит человеческий. Философия и методология искусственного интеллекта очень проста, она заключается в помощи осуществления функционального взаимодействия коммуникаций человека с внешней средой, а также обработки, хранения и передачи информации как для личного, так и для делового общения и взаимодействия.

В медицинской среде искусственный интеллект упрощает взаимодействие врача и пациента с помощью медицинских порталов. Благодаря информационным технологиям пациенты могут записаться к врачу через портал и взаимодействовать с ним. Это экономит время тем самым и упрощает взаимодействие с медицинской средой. И так в современном мире медицинская с помощью искусственного интеллекта может моделировать к примеру исправления прикуса на компьютере и рассчитать формулу приблизительного лечения. С появлением и внедрением искусственного интеллекта медицинская среда упрощает и экономит время на анамнез лечения пациентов. Цифровая среда новая реальность настоящего времени. Так и в современном мире образовательная медицинская среда перешла из очного в дистанционный формат, что упростило взаимодействие в данной образовательной среде. Автор делает вывод, о том, что «цифровизация» ускорит темп развития и повлияет на глобальные изменения медицинской среды в благоприятную и эффективную сторону. В этом и заключается ценность искусственного интеллекта в медицине так как способствует эффективному ее развитию. Но искусственный интеллект никогда не заменит человека. Он лишь будет его помощником для эффективного развития медицинской сферы.

### **Источники и литература**

1. Карнаушенко Л.В., Проблема формирования правовых ценностей в условиях общества риска // Закон и право. 2015. ISSN 2073-3313.
2. Кузубова А.Ю. Правовые ценности в цивилизационном учении Данилевского. Теория и практика общественного развития. М., 2015. С. 118.
3. Леонтьев Д.А. Ценность как междисциплинарное понятие: опыт многомерной реформации // Вопросы философии — 1996. — No 4 — М. С. 4–36;
4. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М., 2003. С. 27.
5. Чупраков А. Ломать шапку перед барином // Советская Россия, 2017, 6 июля.
6. Nauka - nauka.ru/new/pravovye\_cennosti\_i\_vidy/2016-12-17-91336. <http://text.news/gosudarstva-prava-teoriya/sobsvennaya-tsennost-prava-pravovye.html>.
7. <http://bib.social/gosudarstva-prava-istoria/tsennost-prava-pravovye-41809.html>.
8. McCarthy J. et al. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. AI magazine. 2006. No. 4.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ НАТИВНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ИШЕМИЧЕСКОГО И ГЕМОРАГИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА**

**Соломинова Татьяна Александровна**

Выпускник (специалист)

*Российский национальный исследовательский медицинский университет  
имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия*

E-mail: solominovata@gmail.com

**ВВЕДЕНИЕ:** Острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) — одна из ведущих причин смертности и инвалидизации как в России, так и во всём мире [1]. Большую часть ОНМК составляют ишемические инсульты (ИИ) — более 87% [5], однако риск летального исхода и серьезной инвалидизации для геморрагического инсульта (ГИ) в разы выше [4]. Для дифференциальной диагностики ОНМК от других состояний и, в частности, дифференциальной диагностики ГИ и ИИ, в клинической практике зачастую используется нативная компьютерная томография (КТ) головного мозга (ГМ) [2]. Бурное развитие

технологий искусственного интеллекта и машинного обучения нашло свое применение и в медицине, в том числе и в анализе медицинских изображений.

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Создание сервиса автоматической диагностики ОНМК на основе анализа данных нативных КТ изображений ГМ.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** На первом этапе работ обучающий датасет собирался на базе НИИ СМП им. Н.В. Склифосовского в рамках гранта РФФИ. Был получен набор данных, состоящий из 302 серий, представленных только изображениями с ИИ, полученными с томографа Toshiba. Области интереса были размечены врачами-экспертами. При обучении нейронной сети и оценке её работы на тестовой выборке, были получены высокие точностные характеристики ( $AUC=0,894$ , чувствительность — 88%, специфичность — 80,3%), позволившие принять участие в Московском Эксперименте. Однако, при прохождении калибровочного тестирования, полученные НПКЦ ДЗМ точностные характеристики были ниже заявленных:  $AUC$  снизилась до 0,850, а чувствительность до 86%. Это объяснялось малой дифференцировкой данных в обучающем датасете и отсутствием в нём изображений без наличия патологии.

На втором этапе, после подключения к Московскому Эксперименту, появилась возможность дополнения датасета изображениями, полученных из государственных больниц Москвы с томографов разных производителей с различными протоколами регистрации. Помимо изображений КТ с ИИ и без патологии (412 и 307 серий соответственно), также были получены изображения с ГИ (299 серий). Набор датасета для обучения алгоритма диагностики ГИ также проводился совместно с НИИ СМП им. Н.В. Склифосовского. Для обучения нейронных сетей была использована архитектура CFPNet- M [3] с различными функциями потерь (Tanimoto, Generalized DICE, focal loss и др.).

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Были получены следующие точностные характеристики — площадь под характеристической кривой ( $AUC$ ) для обеих моделей составила более 0,9. Чувствительность алгоритма по распознаванию ИИ достигла 81,1% (95% ДИ 64,8–92%), а специфичность — 87,2% (95% ДИ 78,8–93,2%). Помимо сегментации областей ИИ также выделяются области геморрагического пропитывания и кистозно-глиозных изменений (см. рис. 1). Чувствительность модели по распознаванию ГИ составила 88,2% (95% ДИ 72,5–96,7%), а специфичность — 83,5% (95% ДИ 74,6–90,3%). Проводится не только автоматическая сегментация областей кровоизлияний, но и определение их подтипа (см. рис. 2).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** На данный момент разработан и валидирован комплексный сервис автоматической диагностики ОНМК, позволяющий сегментировать следующие области интереса: ИИ, кистозно-глиозные изменения, участки геморрагического пропитывания, ГИ с указанием типа. Планируется дальнейшее пополнение датасета с целью улучшения качества определения типов кровоизлияний: в связи с разной частотой встречаемости, они представлены в обучающем датасете с выраженным дисбалансом. Также будет производиться дообучение модели с целью устранения ложноположительных результатов на сериях с выраженными артефактами.

### Источники и литература

1. Krishnamurthi R. V., Ikeda T., Feigin V. L. Global, Regional and Country-Specific Burden of Ischaemic Stroke, Intracerebral Haemorrhage and Subarachnoid Haemorrhage: A Systematic Analysis of the Global Burden of Disease Study 2017 // *Neuroepidemiology*. 2020. № 2 (54). С. 171–179.
2. Lin M. P., Liebeskind D. S. Imaging of Ischemic Stroke // *CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology*. 2016. № 5 (22). С. 1399–1423.
3. Lou A., Guan S., Loew M. CFPNet-M: A light-weight encoder-decoder based network for multimodal biomedical image real-time segmentation // *Computers in Biology and Medicine*. 2023. (154). С. 106579.

4. Rooij N. K. de [и др.]. Incidence of subarachnoid haemorrhage: a systematic review with emphasis on region, age, gender and time trends // Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry. 2007. № 12 (78). С. 1365–1372.
5. Virani S. S. [и др.]. Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update // Circulation. 2021. № 8 (143).

### Иллюстрации

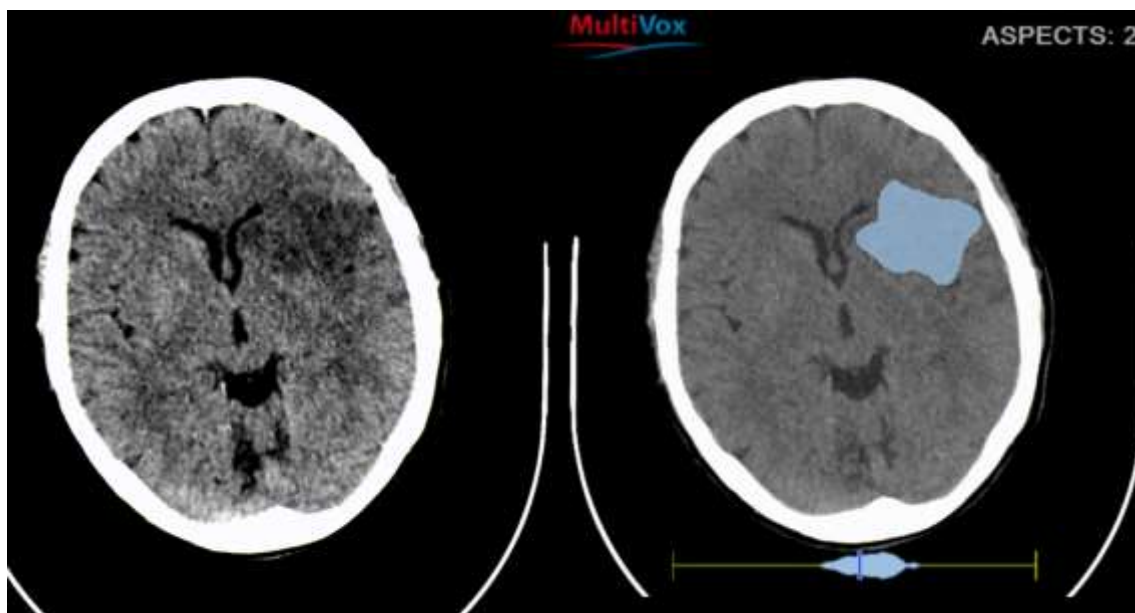


Рис. 1.3: Рисунок 1. Пример автоматической сегментации изображений нативной компьютерной томографии при диагностике острых нарушений мозгового кровообращения по ишемическому типу. Разметка голубой маской соответствует области свежей ишемии (инсульта), красным — области геморрагической трансформации

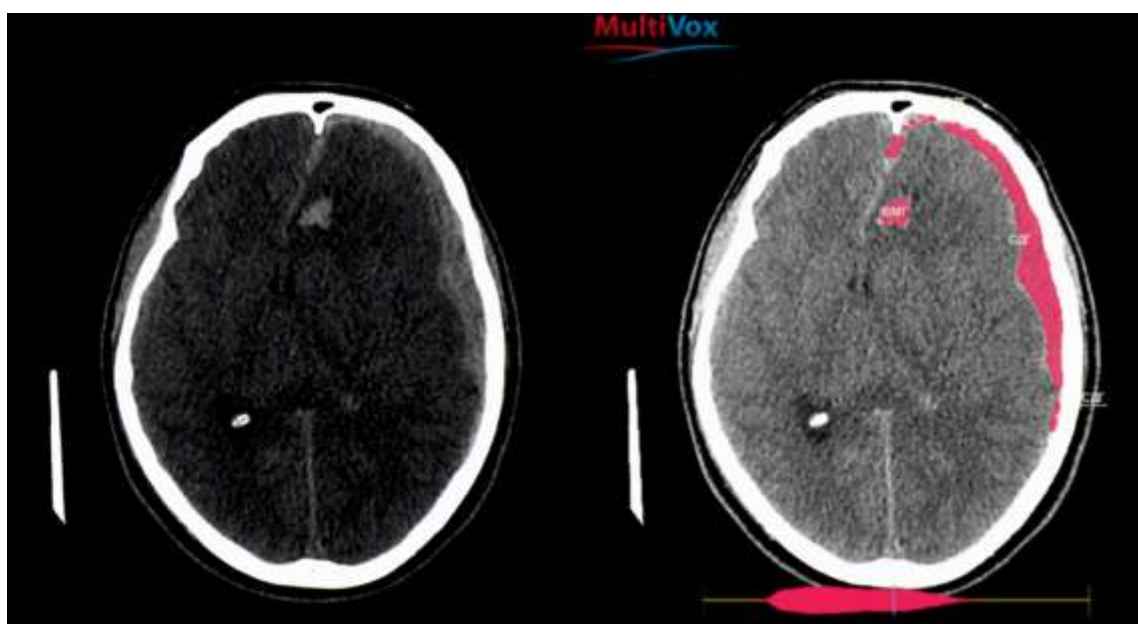


Рис. 1.4: Рисунок 2. Пример автоматической сегментации изображений нативной компьютерной томографии при диагностике острых нарушений мозгового кровообращения по геморрагическому типу. Участки кровоизлияний выделены маской красного цвета и подписью с указанием типа

## **ВОЗМОЖНОСТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОСТАНОВКИ ДИАГНОЗА ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

**Сустатова Анастасия Николаевна**

Студент (специалист)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия*

E-mail: nsustatov@mail.ru

В 1954 году в МГУ под руководством профессора Алексея Андреевича Ляпунова начал свою работу семинар «Автоматы и мышление». Считается, что именно в это время родился искусственный интеллект в России. Развитие и широкое применения такого подхода в науке, медицине и бытовых задачах стало развиваться с появлением персональных компьютеров и ростом вычислительных мощностей.

Одной из областей, в которой широко применяются методы машинного обучения стала медицинская диагностика. Это во много связано с активным внедрением цифровых сервисов хранения и обработки диагностических изображений. Искусственный интеллект в задачах медицинской диагностики и назначения лечения использует всю доступную ему информацию, обрабатывает тысячи объектов в секунду, чего не может сделать человек. Исследования показывают, что к концу дня процент ошибок врача, связанный с усталостью и утомляемостью, повышается. Использование ИИ помогает снизить количество таких ошибок.

В 2020 году в Москве стартовал беспрецедентный научный Эксперимент по внедрению компьютерного зрения в лучевую диагностику. В распоряжении московских врачей свыше 50 сервисов компьютерного зрения. Нейросети помогают находить на медицинских изображениях (маммограммах, КТ, МРТ и рентгеновских снимках) признаки 37 различных заболеваний. Точность диагностики сервисов искусственного интеллекта сопоставима с точностью врача.

Применение ИИ в области медицины уже сейчас демонстрирует свою эффективность и перспективность, в частности, применение искусственных нейронных сетей помогают в задачах диагностики и планирования лечения. Результаты исследования показывают, что искусственный интеллект повышает эффективность работы рентгенолога благодаря автоматизации рутинных процессов [1]. Учёные из Южной Кореи на основе машинного обучения разработали метод повышения точности скрининга рака молочной железы. Каждая маммография была оценена 14 рентгенологами на вероятность наличия злокачественного новообразования в молочной железе. Нейронная сеть показала высокие диагностические результаты: показатель AUC, оценивающий качество классификации, составил 0,940. Исследование подтвердило, что ИИ может выступать в качестве инструмента поддержки для врача [2].

В 2021 году в медучреждениях РФ использовалось около 57 тысяч рентгеновских аппаратов [3]. В России 17 244 врачей-рентгенологов. За последние полгода возросло количество врачей-рентгенологов, которые являются активными пользователями медицинских сервисов на основе компьютерного зрения. Число скептически настроенных врачей к технологии искусственного интеллекта снизилось до 36%.



Есть исследования, которые показывают, что качество цифровых рентгенографических изображений может влиять на производительность моделей семантической сегментации с глубоким обучением. Отношение контраста к шуму (CNR) оказывается наиболее важным качеством изображения по сравнению с отношением сигнал / шум (SNR) [4]. Также на производительность искусственной нейронной сети влияет разрешение изображения. При сравнении производительности сетей, использующих входы с более низким разрешением ( $64 \times 64$  пикселя) по сравнению с входными данными с более высоким разрешением ( $320 \times 320$  пикселей), при обнаружении эмфиземы, кардиомегалии, грыжи и легочных узлов AUC в наибольшей степени улучшилась при более высоком разрешении изображения [5].

Параметры рентгеновских аппаратов значительно изменились за время их существования, начиная с изобретения Вильгельмом Конрадом Рентгеном в конце XIX века. Первые аппараты были громоздкими и требовали длительной экспозиции фотопластинок, что делало процесс диагностики медленным и не всегда эффективным. Однако с течением времени и развитием технологий произошли значительные улучшения. Производители рентгеновских систем стали уделять больше внимания улучшению контрастности, резкости и возможности инспекции изделий в режиме реального времени. Это позволило получать более чёткие и информативные снимки, вследствие чего уменьшился процент бракованных цифровых снимков [6,7,8].

В работе был проведен анализ влияния параметров рентгенологического изображения легких на точность постановки диагноза несколькими открытыми сверточными нейронными сетями. Была изучена корреляция между контрастностью снимков и процентом ошибок в постановке диагнозов. Изучено различие между качеством рентгеновских снимков с рентгенологических аппаратов разных поколений и представлен обзор современных методов улучшения качества рентгенологических снимков. В работе было выявлено, что параметры рентгеновского снимка оказывают значительное влияние на результат работы нейронной сети. Изменение таких параметров, как размер изображения, яркость, контрастность и разрешение, может существенно улучшить точность классификации и снизить количество ошибок.

### Источники и литература

1. Ханс-Иоахим Ментцель. Искусственный интеллект в оценке изображений и диагностике // *Monatsschr Kinderheilkd.* 2021 2 июля; 1-9. doi: 10.1007/s00112-021-01230-9
2. Ким Х.Ы., Ким Х.Х., Хан Б.К., и др. Изменения в выявлении рака и ложноположительном отзыве в маммографии с использованием искусственного интеллекта: ретроспективное многочитательное исследование // *Lancet Digit Health.* 2020;2(3):e138-e148. doi: 10.1016/S2589-7500(20)30003-0
3. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2021 год: радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации.
4. Hena, B.; Wei, Z.; Castaneda, C.I.; Maldague, X. Deep Learning Neural Network Performance on NDT Digital X-ray Radiography Images: Analyzing the Impact of Image Quality Parameters — An Experimental Study. *Sensors* 2023, 23, 4324. <https://doi.org/10.3390/s23094324>
5. Carl F. Sabottke, MD, MS • Bradley M. Spieler, MD; The Effect of Image Resolution on Deep Learning in Radiography// *Radiology: Artificial Intelligence* 2020; 2(1):e190015
6. Камышанская И.Г. Постобработка цифровых рентгенограмм в практике рентгенолога. Медицинская визуализация. 2017; 21 (1):116–128. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-1-116-128.
7. Ганичев Павел Александрович, Тихомирова Александра Александровна, Дохов Михаил Александрович. «Перспективы использования искусственного интеллекта в радиологии. Краткий обзор». Визуализация в медицине, vol. 4, no. 4, 2022, pp. 7-14
8. Волокитина Т.С. Нейросеть для распознавания изображений // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2021/03/94768> (дата обращения: 23.09.2024).

## **Секция 2**

# **Цифровые технологии для мониторинга здоровья**

10 декабря 2024. Зал-трансформер коворкинга 1 учебного корпуса МГУ

**Председатели секции:** ассистент кафедры терапии факультета фундаментальной медицины МНОИ МГУ, к.м.н. Е.И. Зимакова; м.н.с. кафедры ФУиРМ физического факультета МГУ А.А. Щербаков

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ПАЦИЕНТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Афонин Владлен Дмитриевич<sup>1</sup>, Лантух Зоя Александровна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Факультет кибернетики и информационной безопасности, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва*

E-mail: vladlenafonin.university@yandex.ru

Согласно Федеральному закону 9 января 1996 года N 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», по требованию пациента ему предоставляется полная информация об ожидаемой или о получаемой им дозе облучения и о возможных последствиях при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур.

При проведении компьютерной томографии, как и при рентгенорадиологических исследованиях пациенту должна быть рассчитана эффективная доза, полученная при облучении. Врач-рентгенолог или рентгенолаборант регистрирует значение индивидуальной эффективной дозы пациента в листе учета дозовых нагрузок при проведении рентгенологических исследований и в журнале учета ежедневных рентгенологических исследований. Определение и учет дозовых нагрузок проводится с использованием утвержденных методов, методик выполнения измерений и типов средств измерений.

Имеющиеся методики для расчета эффективных доз пациента при проведении компьютерной томографии [3, 4] основаны на измерениях поглощенной дозы в физических фантомах, имитирующих тело человека. Величина эффективной дозы вычисляется по параметру произведение дозы на длину (DLP, мГр\*см) и дозового коэффициента, зависящего от сканируемой анатомической области, возраста пациента и размера фантома, симулирующего исследование.

Для удобства расчёта эффективной дозы и сокращения времени предлагается использовать калькулятор [5], однако на практике рентгенолаборант, работающий в кабинете компьютерной томографии, сталкивается с трудностями при правильном выборе параметров дозового коэффициента. Разнообразие визуального представления величины DLP у ряда производителей вызывает сложности интерпретации, особенно при проведении комплексного исследования с несколькими анатомическими областями. Однако вся необходимая информация о пациенте хранится в файле исследования формата DICOM 3.0 и может быть автоматизирована с помощью цифровых технологий.

Целью данного исследования является разработка программного обеспечения для автоматического расчета эффективной дозы пациента при проведении компьютерной томографии.

Авторами было разработано программное обеспечение с графическим интерфейсом STDoseCalc [6] на языке Python, которое рентгенолаборант может использовать для расчета эффективных доз пациента при компьютерной томографии повседневно. В программное обеспечение загружается файл исследования формата DICOM 3.0 и по имеющимся в нем данным производится расчет эффективной дозы. Эффективная доза пациента выводится в размерности мЗв, что позволяет внести ее в регистрационные документы, указанные ранее. При необходимости выводится справка о величине дозового коэффициента.

Программа STDoseCalc позволяет обрабатывать компьютерные томографии, созданные на рентгеновских компьютерных томографах ведущих мировых и отечественных производителей.

Использование разработанного программного обеспечения значительно позволяет сократить процесс приема пациента, повысить точность расчета эффективной дозы и исключить ошибку оператора. Перспективным процессом является внедрение данного программного обеспечения в радиологические информационные системы, хранящие изображения компьютерных томограмм [7] и системы мониторинга доз.

### Источники и литература

1. Федеральный закон 9 января 1996 года № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».
2. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 14 февраля 2003 г.)
3. МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований».
4. МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований».
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617710 Российская Федерация. Калькулятор эффективных доз пациентов при проведении компьютерной томографии : № 2024616258 : заявл. 26.03.2024 : опубли. 04.04.2024 / Ю. А. Васильев, З. А. Лантух, Ю. В. Дружинина [и др.] ; заявитель : государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681738 Российская Федерация. Калькулятор эффективных доз пациентов при проведении компьютерной томографии : № 2024680462 : заявл. 03.09.2024 : опубли. 12.09.2024 / Ю. А. Васильев, З. А. Лантух, И.В. Солдатов [и др.] ; заявитель : государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».
7. Шатёнок М. П., Рыжов С. А., Лантух З. А. [и др.] Возможности программного обеспечения для мониторинга дозовой нагрузки пациентов в лучевой диагностике // Digital Diagnostics. 2022. Т. 3, № 3. С. 212–230. DOI: 10.17816/DD106083.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

**Федорова Софья Александровна**

Студент (бакалавр)

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Институт информатики, математики и электроники, Самара, Россия*

E-mail: feodorowa.sof@yandex.ru

Одним из наиболее точных бесконтактных инструментальных методов исследования локомоций человека является биомеханический анализ движений, который всё чаще применяется в медицинской реабилитации пациентов с различными заболеваниями [1]. Современные технологии захвата движений (Motion Capture) являются методом обработки количественных данных и представляют собой процесс записи движений реальных людей и последующего переноса их на трёхмерную модель [2]. Существует несколько типов систем захвата движений, наиболее широкое распространение в научных и медицинских исследованиях получили оптико-электронные системы. Технология захвата движений такого

рода систем, основанная на компьютерном анализе видеозаписей движений исследуемого объекта, даёт возможность осуществлять измерения на расстоянии, исключая необходимость в кабельном соединении между регистрирующим устройством и объектом исследования [3]. Оптико-электронные системы в свою очередь разделяются на маркерные и безмаркерные системы, последние из которых представляют большой интерес для исследователей в области биомеханики. Основой работы безмаркерных систем захвата движения, как правило, являются нейронные сети, которые оценивают позу человека, применяя методы компьютерного зрения и машинного обучения. К числу таких технологий можно отнести фреймворки OpenPose, MediaPipe и Movenet [3–5]. OpenPose и MediaPipe позволяют оценить координаты ключевых точек. Отличительной особенностью нейронной сети Movenet является ее способность прогнозировать угол наклона суставов при различных скоростях ходьбы и уклонах, что способствует разработке индивидуализированных программ реабилитации пациентов [6].

Помимо анализа реальных видеозаписей, в биомеханических исследованиях используются вычислительные инструменты моделирования и имитации [7]. OpenSim — проект с открытым исходным кодом, который позволяет моделировать и предсказывать с помощью программного инструментария OpenSim Мосо новые движения и адаптации к новым условиям без проведения физических экспериментов [8], а также вычислять переменные, которые трудно измерить экспериментально, такие как силы, создаваемые мышцами, а также растяжение и отдача сухожилий во время движения [9]. Исследования позволили улучшить реабилитацию пациентов после инсульта за счет понимания типичного и нарушенного нейромышечного контроля [10], привели к предотвращению травм лодыжки при приземлении благодаря представлению ограничений рефлексов [11], а также способствовали более глубокому осмыслению координации мышц при ходьбе с нагрузкой и под наклоном [12].

Направление исследований в рассматриваемой области стабильно ориентировано на цифровизацию и численное моделирование. Уже сейчас системы захвата движений совместно с системами моделирования дают возможность получать объективную информацию, необходимую для диагностики двигательных расстройств и проведения реабилитационных мероприятий. Также применение биомеханических систем для захвата движений человека позволит осуществлять количественную и качественную оценку локомоций человека с целью дальнейшего использования этих результатов в медицинской реабилитации.

### Источники и литература

1. Возможности применения биомеханических систем захвата движений человека в медицинской реабилитации (обзор) / Г.Е. Шейко [и др.]. // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. — 2022. — № 3.
2. Метод трехмерного захвата движений человека на основе компьютерного зрения / А.Д. Обухов [и др.]. — DOI: 10.23947/2687-1653-2023-23-3-317-328 // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). — 2023. — Том 23, № 3. — С. 317–328.
3. Evaluation of 3D Markerless Motion Capture Accuracy Using OpenPose With Multiple Video Cameras / N. Nakano, T. Sakura, K. Ueda, et al. — DOI: 10.3389/fspor.2020.00050 // Frontiers in Sports and Active Living. — 2020. — Vol. 2, Issue 50.
4. User Identification Based on Hand Geometrical Biometrics Using Media-Pipe / S. Ghanbari, Z. Ashtyani, M. Masouleh — DOI: 10.1109/ICEE55646.2022.9827056 // 30th International Conference on Electrical Engineering (ICEE). — 2022. — P. 373–378.
5. A Fall Detection Alert System Based on Lightweight Openpose and Spatial-Temporal Graph Convolution Network / W. Mai, F. Wu, et al. — DOI: 10.1088/1742-6596/2035/1/012036 // Journal of Physics Conference Series. — 2021. — Vol. 2035, Issue 1.
6. MoveNet: A Deep Neural Network for Joint Profile Prediction Across Variable Walking Speeds and Slopes / R. Bajpai, D. Joshi — DOI: 10.1109/TIM.2021.3073720 // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. — 2021. — Vol. 70. — P. 1–11.

7. Имитационное биомеханическое моделирование как метод изучения двигательных действий человека / А.В. Воронов // Теория и практика физ. культуры. — 2004. — № 2. — С. 29–32.
8. OpenSim Moco: Musculoskeletal optimal control / C. Dembia, N. Bianco, et al. — DOI: 10.1371/journal.pcbi.1008493 // PLoS Comput Biol. — 2020. — Vol. 16, Issue 12.
9. OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement / A. Seth, J. Hicks, T. Uchida, et al. — DOI: 10.1371/journal.pcbi.1006223 // PLoS Comput. Biol. — 2018. — Vol. 14, Issue 7.
10. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation / J. Krakauer — DOI: 10.1097/01.wco.0000200544.29915.cc // Current Opinion Neurology. — 2006. — PMID: 16415682.
11. Preparatory co-activation of the ankle muscles may prevent ankle inversion injuries / M. DeMers, J. Hicks, S. Delp — DOI: 10.1016/j.jbiomech.2016.11.002 // Journal of Biomechanics. — 2017. — Vol. 52, p. 17–23.
12. Predictive Simulation Generates Human Adaptations during Loaded and Inclined Walking / T. Dorn, J. Wang, et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0121407 // PLoS ONE. — 2015. — Vol. 10, Issue 4.

## PROGRAM FOR MONITORING SPONTANEOUS SPEECH IN APHASIA

**Лехницкая Полина Александровна**

Student (bachelor)

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Институт филологии и межкультурной коммуникации, Казань, Россия*

E-mail: lekhnitskaya.polina@gmail.com

According to the stroke registry of the Research Institute of Neurology of the Russian Academy of Medical Sciences, 400,000 new cases of stroke occur in Russia every year. And speech disorders occur in 25-30% of cases of stroke. Aphasia is among the most common speech disorders. L.S. Tsvetkova defines aphasia as a systemic speech disorder that occurs with organic brain damage, covers different levels of speech organization, affects its connections with other mental processes and leads to the disintegration of the entire mental sphere of a person, disrupting primarily the communicative function of speech [4]. The systemic nature of the disorder implies that expressive speech (pronunciation, grammar), impressive speech (perception and understanding), internal speech, written speech (reading and writing) are affected to one degree or another [3]. Since aphasia is a consequence of damage to the speech centers of the cerebral cortex, possible causes of this syndrome are: strokes, traumatic brain injuries, inflammatory diseases of the brain (for example, encephalitis), brain tumors. The severity of the syndrome depends on the patient's age, the location of the lesion, and compensatory capabilities [1]. Therefore, there is a strong need to create software solutions for monitoring the condition of a patient who has suffered a stroke.

The program is developed by Python “Spacy” and “Pymorphy2” libraries. An exhaustive description of aphasia speech markers and the most affected linguistic components was given by A.R. Luria. Therefore, the basic parameters were developed on the theory of A.R. Luria. The speech examples in aphasia were also taken from [2].

The software includes functions that calculate the relationship between parts of speech, word connections, lexical diversity, and the number of pauses. Formulas were developed that evaluate the state of surface syntax and deep syntax in some approximation. Functionality for modeling speech generation based on the obtained formula values was added. To obtain the result, it is necessary to record a monologue on a given topic, after which its transcription and quantitative values will be obtained [5, 6]. The software can be used both for home use and in speech therapy classes.

### References

1. Гнездилова С.О. Комплексная моторная афазия в остром периоде ишемического инсульта. Описание клинического случая // Научная инициатива в психологии: Межвузовский сборник научных трудов студентов и молодых ученых. Курск: Курский государственный медицинский университет, 2020. С. 55–62.
2. Лурия А.Р. Основные проблемы нейролингвистики. Изд. 3-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 256 с. (Из наследия мировой психологии.)
3. Хомская Е.Д. Нейропсихология. М.: Лабиринт, 2005. 496 с
4. Цветкова Л.С. Афазия и восстановительное обучение: учеб. Пособие для студентов дефектол. фак. пед. Ин-тов. М.: Просвещение, 1988. 207 с.
5. Certificate of state registration of computer program No. 2024681443 Russian Federation. Speech generation modeling: No. 2024680621: declared 09/07/2024: published 09/10/2024 / P. A. Lekhnitskaya
6. Certificate of state registration of computer program No. 2024681417 Russian Federation. Analyzer for assessing spontaneous speech in aphasia: No. 2024669944: declared 08/28/2024: published 09/09/2024 / P. A. Lekhnitskaya

## РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ОСАНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ВИДЕОФИКСАЦИИ

**Смирнова Виктория Владимировна**

Аспирант

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского, Казань, Россия*

E-mail: yaikovavictoriya@mail.ru

Поддержание правильной осанки необходимо для общего здоровья и благополучия, однако это распространенная проблема, которая затрагивает людей всех возрастов и часто приводит к снижению качества жизни. К счастью, простые и надежные инструменты оценки осанки могут помочь выявить отклонения в ней на ранней стадии. В данном исследовании представлена методика оценки статической осанки с использованием данных цифровой видеокамеры для выявления распространенных аномалий осанки.

Сколиоз или искривление позвоночника может иметь серьезные последствия для здоровья и общего самочувствия человека. Если сколиоз развивается в детском или подростковом возрасте, он часто протекает в легкой форме и может быть исправлен с помощью специализированных медицинских корсетов, лечебной гимнастики и массажа при условии своевременного обращения к врачу. Однако если его не лечить, состояние может ухудшиться, что приведет к болезненным ощущениям и ограничению движений в зрелом возрасте. Фактически, игнорирование этого состояния может привести к прогрессированию сколиоза в 50 % случаев [1].

Стремительное развитие компьютерных технологий позволило разработать топографический анализ тела — метод, который визуализирует и анализирует внешние контуры туловища, обычно со спины. Этот метод доказал свою высокую эффективность при оценке деформаций туловища у детей со сколиозом, где была отмечена корреляция между углом искривления позвоночника и деформацией поверхности [2].

Объективная количественная оценка необходима для исключения субъективных мнений и количественной оценки изменений у пациентов в результате терапевтических вмешательств или для мониторинга прогрессирования нервно-мышечных заболеваний. Используя топографический анализ тела, медицинские работники могут получить более точное

понимание сложных взаимосвязей между формой и функциями тела, что в конечном итоге приведет к более эффективным стратегиям лечения.

Системы 3д видеоанализа, основанные на захвате движения, являются дорогостоящими, и требуют четких протоколов по сбору и обработке данных, что делает их трудно-применимыми в клинической практике. Тем не менее, они остаются «золотым стандартом» для валидации других систем измерения [3, 4]. Наиболее практичным клиническим методом является использование видеозаписей, поскольку они требуют минимальной технической подготовки и подготовки пациента и могут использоваться для пациентов любого возраста и тяжести заболевания.

Целью данной работы является разработка методики и создание технологии для оценки статической координации пациентов, а также движения пациентов с различными заболеваниями двигательного аппарата, прогнозирования травм и анализа качества движения, связанных с асимметрией тела. Новым технологическим решением, лежащим в основе разработки, является объективизация методов анализа движения и проектирование программно-аппаратного решения при работе с изображениями, полученными с цифровых видеокамер.

#### 1. Материалы и методы.

Процедура использования программно-аппаратного комплекса заключается в следующем: в соответствии с разработанными протоколами расставляются видеокамеры, и испытуемый ориентируется относительно них. Пациент или спортсмен выполняет ряд упражнений. Видеозапись с упражнением загружается в программный комплекс и в автоматическом режиме происходит объективизация и обработка видеозаписи.

#### 2. Программа по обработке видеоданных.

Создан программный комплекс по оценке видеозаписи в положении стоя спиной к камере и оценке удержания положения тела с вытянутыми руками боком к камере. Программный комплекс имеет понятный интерфейс, в котором происходит загрузка видеозаписи с возможностью обрезки для обработки значимого фрагмента. Видеофайл загружается в программу, где специалисту предлагается разметить первый кадр (выделить человека).

Распознавание объекта на изображении осуществляется с помощью предобученной нейронной модели для сегментации изображений. Данная модель поддерживает гибкие подсказки и выводит маски сегментации в реальном времени при появлении запроса на интерактивное использование Segment Anything (SAM) [5].

Далее осуществляется автоматический трекинг объекта. На каждом следующем кадре находится объект с характеристиками, определёнными на первом кадре. Далее происходит построение скелета по данным видеофиксации; применение метода гониометрии для исследования подвижности суставов; построение ангулограмм; определение кинематических параметров, способствующих ускорить диагностику заболевания и индивидуализировать лечение и прочее. По полученным параметрам производится подсчет статистики (средние значения, стандартное отклонение). Выходными данными является Excel-файл, содержащий все расчетные параметры и статистику, и визуализация результатов, включающая в себя графики изменения параметров по времени и статистические данные (boxplot, матрицы корреляций и прочее).

Осуществляется детекция человека на выбранном фрейме и получение маски. Далее происходит выделение объектов: головы, рук, туловища и определение центров масс объектов для построения скелета, выделение треугольников талии. Осуществляется подсчет углов между линиями плеч и горизонталью ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), отклонение оси тела от вертикали ( $\mu$ ), угол отклонения подмышечных впадин ( $\gamma$ ) и угол высоты талии, который определяется как угол между линией, соединяющей вершины вогнутости талии, и горизонтальной линией ([U+03F4]), площади треугольников талии (S1, S2).



В данной статье представлена методология автоматизации анализа движений человека, включающая определение уникальных количественных параметров качества движений. Такой подход позволяет выявлять незначительные отклонения от нормы, оценивать динамику во времени и сокращать время диагностики. Он также облегчает коррекцию применяемой терапии, оценивая ее эффективность по изменению параметров во времени. В спортивной сфере такой подход позволяет корректировать тренировочные методики, чтобы минимизировать риск травм и максимизировать результаты.

Сидячий образ жизни и снижение физической активности современного населения привели к всплеску серьезных проблем со здоровьем. Плохая осанка часто служит предвестником мышечного дисбаланса, избирательного напряжения и слабости из-за чрезмерного или недостаточного использования определенных мышц. Длительное неправильное положение тела может ускорить развитие некоторых патологий, более в спине и артрита.

В настоящее время анализ движений в большинстве медицинских учреждений остается субъективным. Поэтому основная задача проекта — объективизировать методы анализа и оценить качество движений, выявив отклонения во время выполнения стандартных упражнений с помощью видеозаписи. Современные видеотехнологии и анализ данных повышают эффективность работы медицинских специалистов.

### Источники и литература

1. Жардиновский, М.А. Методические рекомендации по корригирующей гимнастике при сколиозе у детей / М.А. Жардиновский — К.: Здоровье, 1982. — 118 с.
2. Karpel I., Ziębin'ski A., Kluszczyn'ski M., Feige D. A Survey of Methods and Technologies Used for Diagnosis of Scoliosis. // Sensors (Basel). — 2021. — № 21(24). — 8410. DOI: 10.3390/s21248410
3. Smirnova V., Khamatnurova R., Kharin N., Yaikova E., Baltina T., Sachenkov O. The Automation of the Gait Analysis by the Vicon Video System: A Pilot Study. // Sensors (Basel, Switzerland). — 2022. — Vol. 22, Is. 19. <https://doi.org/10.3390/s22197178>
4. Baltin M., Fedianin A., Sachenkov O., Yaikova V., Baltina T., Ereemeev A. Walking analysis by video analysis under antiorthostatic hanging conditions in rats // EUROPEAN JOURNAL OF CLINICAL INVESTIGATION. — 2021. — Vol. 51, Is. — P. 145–146.
5. <https://segment-anything.com/> Meta AI Research, FAIR, arXiv:2304.02643v1 [cs.CV] 5 Apr 2023

### Иллюстрации

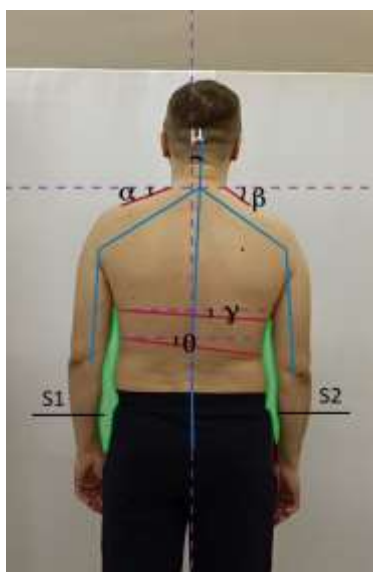


Рис. 2.1: Выделение углов плеч, отклонение от вертикали, площади треугольников талии

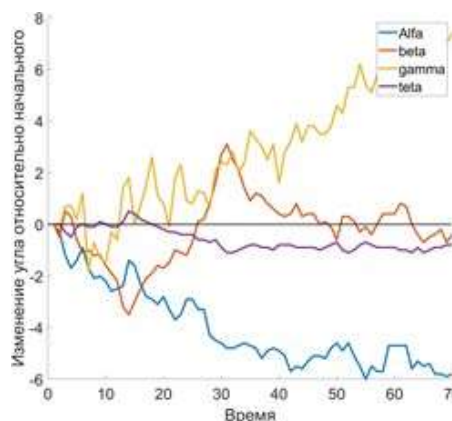


Рис. 2.2: Изменение углов относительно начального момента времени

# **Секция 3**

## **Радиационная обработка биообъектов и материалов**

10 декабря 2024. Зал-трансформер коворкинга 1 учебного корпуса МГУ

**Председатели секции:** зав. лабораторией РОБМ ОЯФММП НИИЯФ МГУ У.А. Близнюк;  
доцент кафедры ФУиРМ физического факультета МГУ П.Ю. Борщegovская

## META-ANALYTICAL EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS FROM EXPOSURE OF NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS FROM SOILS AT GOLD MINES

Awuah Collins

Postgraduate

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Физико-технический институт, Томск, Россия*

E-mail: collins.awuah.stu@uenr.edu.gh

**Abstract.** Mining activities, particularly in gold-rich regions, may expose the environmental to naturally occurring radioactive materials that could be one of the contributing factors to the adverse health effects of the surrounding communities in the long run. This study carries out a meta-analytical assessment of the carcinogenic risks associated with radiation exposure from soil origin in areas of gold mining, with a focus on radium-226, thorium-232, and potassium-40, key contributors to natural background radiation. Such an assessment is supported by hazard indicators (Internal and External), annual effective dose, and excess cancer lifetime risk from various studies carried out across different geographies.

**Introduction.** Radiological exposure to NORM in mining areas is one of the major environmental concerns nowadays. During gold mining, these gold-bearing soils, emit radiation that elevates the risk of adverse health effects including carcinogenesis [1]. According to the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), the radiation protection in environmental samples could be considered safe when the external, and Internal Hazard Indices, are less than or equal to a threshold value of 1 for each, in order to avoid health hazards [2].

**Methods.** A total of ten studies conducted across African mining regions including Nigeria, Kenya, Tanzania, and the Democratic Republic of Congo, together with one conducted in South-east Asia, specifically in Laos, which measured the concentration of radionuclides in soils through gamma spectrometry, were pooled in this meta-analysis. The mean activity concentrations of radium-226, thorium-232, and potassium-40 reported by the various studies involved in the computation of Internal and External Hazard Index, annual effective dose, and excess lifetime cancer risk. These results were benchmarked against the UNSCEAR safety limits and average global background levels [2].

**Results and Discussion.** The computed Internal Hazard Indices across the studies ranged from 0.04 to 1.00, while External Hazard Indices were from 0.21 to 6.0. A couple of studies, recorded values exceeding the safe limit (1.00) prescribed for both Internal and External Hazard Indices, indicating significant external exposure risk. Similarly, excess lifetime cancer risk varies in different studies, while several studies have reported an excess lifetime cancer risk above the UNSCEAR-recommended limit of  $1 \times 10^{-4}$  [2], thus showing potential carcinogenic risk.

The mean annual effective dose at all the various studies was approximately 0.36 mSv/year, which is within the UNSCEAR-recommended limit of 1 mSv/year to the public [2], in comparison with international guidelines. However, doses recorded by one of the studies were as high as 1.450 mSv/year; higher than the safe maximum exposure limit of 0.07 mSv/year [2]. This agrees with similar studies that reported increased radiological hazard in gold mining areas.

The variation in the values of hazard indices reflects the geological and operational variations of gold mines, as soil types and mining activities would lead to different levels of radionuclides. In this context, the high external hazard index and Excess Lifetime Cancer Risk obtained

calls for regulatory oversight and community-based monitoring of radiation in those high-risk areas [3].

**Conclusion.** The present meta-analysis emphasizes the risks that NORM exposure presents to the environment and health in areas of gold mining, especially where the hazard indicators are greater than the internationally accepted safety limits. Results all point to guidelines as set by the UNSCEAR for regular radiological assessment and mitigation measures to ensure safety for local populations. Quantification of the long-term carcinogenic effects due to communities' exposure to higher levels of radionuclides from gold mining and other artisanal and industrial mining activities is recommended.

### References

1. Oketayo, O. O., Adeleke, M. J., & Ayanda, O. S. 2019. Content and Risk Assessment of some Environmental Samples from Gold Mines at Mokuro-Ile-Ife, Osun State, Nigeria. *Asian Journal of Applied Sciences*, 07(03).
2. UNSCEAR. (2020). Ionizing radiation: Sources and biological effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
3. Focus, E., Rwiza, M. J., Mohammed, N. K., & Banzi, F. P. (2021). The influence of gold mining on radioactivity of mining site soil in Tanzania. *Asian Journal of EQA — International Journal of Environmental Quality*, 46(2021), 46-59. ISSN 2281-4485.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА АКТИВНОСТЬ ФИТОПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ

**Шимко Павел Александрович**

Студент (специалист)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия*

E-mail: pashashimko0306@gmail.com

В сельском хозяйстве одной из ключевых задач растениеводства является защита культур от заболеваний. Фитопатогенные грибы представляют серьёзную опасность как для растений, так и для урожая во время его хранения, так как до 80% всех возбудителей болезней растений составляют различные виды грибов [1]. Более экологически безопасным вариантом защиты растений по сравнению с химическими методами является радиационная обработка, способная эффективно подавлять рост фитопатогенных грибов и других вредоносных организмов без негативного влияния на окружающую среду [2].

Целью работы являлось исследование влияния обработки низкоэнергетическими ускоренными электронами на чистые культуры фитопатогенных грибов.

Объектами исследования послужили различные штаммы фитопатогенных грибов *Rhizoctonia solani* (ШП-28, ШК-25), *Fusarium spp.* (К-91, К-7.2, К-37, Г-4), *Bipolaris sorokiniana* (Т-2, Т-1), *Alternaria spp.* (ТАН-1, Е-1) и *Septoria nodorum* (S-1), предоставленные СФНЦА РАН.

Обработка чашек Петри с выращенными на питательной среде (КДА) культурами грибов проводилась с использованием линейного ускорителя электронов непрерывного действия УЭЛР-1-25-Т-001 со средней мощностью пучка 25 кВт. Максимальная энергия частиц составила 1 МэВ, облучение проводилось в дозах 100, 1000, 5000 и 10 000 Гр. После радиационной обработки производился высев образцов мицелиального мата грибов на

питательную среду в чашках Петри для наблюдения за динамикой их роста. Диаметры колоний фитопатогенных грибов измерялись на 3-й, 5-й и 7-й дни с момента посева.

Анализ динамики роста колоний грибов показал, что зависимость их диаметра от времени роста после посева имеет линейный характер. Посредством аппроксимации были получены диаметральные скорости роста колоний (таблица 1).

Таблица 1. Значения коэффициентов диаметральных скоростей роста колоний фитопатогенных грибов при их облучении ускоренными электронами с энергией 1 МэВ.

Полученные результаты указывают на различную степень радиочувствительности штаммов фитопатогенных грибов. Ионизирующее излучение снижало скорость роста у 7 из 11 исследованных штаммов, вплоть до полного подавления роста колоний при дозах свыше 1000 Гр. Наиболее чувствительным к радиационному воздействию оказался штамм ШК-25 гриба *Rhizoctonia solani*, у которого ингибирование роста наблюдалось уже при дозе 1000 Гр. Наиболее радиоустойчивыми оказались штамм ТАН-1 рода *Alternaria* и штаммы К-7.2 и К-37 рода *Fusarium*, чей рост не удалось подавить даже при облучении дозой 10 000 Гр.

Для анализа зависимости диаметров колоний грибов от дозы облучения были выбраны данные на 5-й день наблюдений, поскольку к 7-м суткам рост был ограничен размерами чашек Петри. В результате анализа установлено, что для штаммов Г-4, К-91, ТАН-1, Т-1, Т-2, ШК-35, ШП-28 зависимость диаметра колоний от дозы облучения имеет сигмоидальный характер.

Таким образом, проведённое исследование показало, что радиационная обработка ускоренными электронами с максимальной энергией 1 МэВ не только снижает скорость роста колоний, но и может полностью подавить развитие ряда фитопатогенных грибов. При этом дозы облучения, необходимые для ингибирования роста, варьировались, что свидетельствует о различной радиочувствительности грибов, обусловленной морфологическими особенностями их видов и штаммов.

Таблица 1: Результаты эксперимента

Штамм гриба	Доза облучения				
	Контроль	100 Гр	1000 Гр	5000 Гр	10 000 Гр
<i>Fusarium spp</i> (Г-4)	11,67 ± 0,04	10,64 ± 0,53	16,06 ± 1,24	0	0
<i>Fusarium spp.</i> (К-91)	13,2 ± 0,18	13,11 ± 0,16	10,88 ± 0,60	0	0
<i>Fusarium spp</i> (К-7.2)	10,58 ± 0,18	7,58 ± 0,31	8,78 ± 0,10	8,03 ± 0,50	11,61 ± 0,32
<i>Fusarium spp</i> (К-37)	14,73 ± 0,18	14,63 ± 1,10	14,52 ± 1,02	13,90 ± 0,63	14,62 ± 1,10
<i>Alternaria spp.</i> (Е-1)	9,56 ± 0,36	9,56 ± 0,57	8,86 ± 0,30	8,13 ± 0,01	10,00 ± 0,60
<i>Alternaria spp.</i> (ТАН-1)	9,17 ± 0,14	8,52 ± 0,07	8,66 ± 0,01	0	0
<i>B. sorokiniana</i> (Т-1)	14,11 ± 0,73	13,63 ± 0,58	10,18 ± 0,20	0	0
<i>B. sorokiniana</i> (Т-2)	13,59 ± 0,46	13,33 ± 0,72	11,50 ± 0,60	0	0
<i>R. solani</i> (ШК-25)	5,22 ± 0,07	5,20 ± 0,05	0	0	0
<i>R. solani</i> (ШП-28)	5,72 ± 0,08	5,86 ± 0,11	3,54 ± 0,50	0	0
<i>S. nodorum</i>	12,15 ± 1,14	7,53 ± 0,91	8,67 ± 0,62	5,05 ± 1,25	5,41 ± 1,18

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-63-00075.

#### Источники и литература

1. Сокирко В.П., Горьковенко В.С., Зазимко М.И. Фитопатогенные грибы (морфология и систематика) // Краснодар: КубГАУ. — 2014.
2. Чуликова Н.С., Малюга А.А., Близнюк У.А. и др. Радиационная обработка семенного картофеля как метод подавления различных форм ризоктониоза на клубнях нового урожая // Агрохимия. — 2023. — № 2. — С. 69–78.

## НОВЫЙ ПОДХОД К РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

**Зубрицкая Яна Викторовна**

Аспирант

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия;*

E-mail: zubritckaia.iv18@physics.msu.ru

В свете перехода к экологичным методам в сфере сельского хозяйства интерес представляет применение радиационных технологий с целью защиты и стимуляции роста растений. Согласно МАГАТЭ, эффективным физическим методом обработки, как материалов, так и биологических объектов, является обработка низкоэнергетическими ускоренными электронами и фотонами [1, 2], поскольку их источники более безопасны по сравнению с радионуклидными, имеют регулируемую мощность и более высокую производительность.

Целью работы было изучение особенностей влияния предпосевной обработки низкоэнергетическими пучками электронов и рентгеновским излучением на рост и фитопатогенное состояние культур картофеля и пшеницы.

Объектами исследования были пшеница сорта «Новосибирская 29» с естественным заражением фитопатогенными грибами и картофель сортов «Фиолетовый» и «Гала» с естественным заражением грибом *Rhizoctonia Solani*, предоставленные СФНЦА РАН.

Облучение проводилось в диапазоне доз 5–30 Гр двумя типами излучения: ускоренными электронами с максимальной энергией 1 МэВ на линейном ускорителе электронов УЭЛР-1-25-Т-001 (НИИЯФ МГУ, Россия) и рентгеновским излучением с максимальной энергией 80 кэВ на установке РАП-100 с рентгеновской трубкой 1BPV23-100 и молибденовым анодом (ФМБЦ им. Бурназяна, Москва). С учётом малого пробега низкоэнергетических электронов и фотонов облучение клубней проводилось с двух противоположных сторон, в то время как семена пшеницы, выложенные в монослой, облучались с одной стороны.

Посредством компьютерного моделирования с использованием инструментария Geant4 были получены карты дозового распределения и распределения показателей линейной передачи энергии (ЛПЭ) в образцах. Как дозовое, так и ЛПЭ-распределения были различны для разных типов излучения. При облучении картофеля большая часть дозы была поглощена в поверхностных слоях клубня, где залегали его ростовые структуры и склеротии фитопатогенных грибов.

Полевые исследования показали, что для сорта «Гала» облучение снижало как количество урожая, так и долю его поражения различными формами заболеваний, вызванных *Rhizoctonia Solani*. Итоговый эффект приводил к увеличению количества здоровых клубней по сравнению с контрольными растениями. Облучение в дозах 10 и 15 Гр увеличило процент здоровых клубней в новом урожае на 154.

У сорта «Фиолетовый» облучение в дозе 10 Гр увеличило количество здоровых клубней на 244.

В случае предпосевной обработки семян пшеницы облучение рентгеновским излучением в дозах 5–15 Гр повышало урожайность культуры на 37,1–48,3.

Таким образом, исследование показало, что радиационная обработка низкоэнергетическими электронами и рентгеновским излучением позволяет повысить продуктивность культур и качество нового урожая. Предпосевная обработка способна снизить распространение фитопатогенов на семенном материале, однако не даёт гарантии защиты растения от

заболеваний извне. Различия в картах дозовых и ЛПЭ-распределениях, а также в эффективных дозах обработки для пшеницы и картофеля сортов «Гала» и «Фиолетовый» говорит о необходимости индивидуального подхода к планированию радиационной предпосевной обработки в зависимости от особенностей семенного материала. Правильный выбор типа и характеристик используемого излучения и комбинирование радиационной обработки с другими методами защиты растений — такими как биологические и химические — потенциально позволит обеспечить высокую продуктивность культур безопасными для окружающей среды способами.

## **КИНЕТИКА ПРЕВРАЩЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В БИООБЪЕКТЕ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ**

**Ипатова Виктория Сергеевна**

Младший научный сотрудник

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ,  
Москва, Россия;*

E-mail: ipatova.vs15@physics.msu.ru

Радиационная обработка в пищевой и сельскохозяйственной промышленности позволяет решать широкий спектр задач: от подавления патогенной микрофлоры до увеличения сроков хранения [1]. Воздействие ионизирующего излучения на биологические мишени — жиры, белки, углеводы, мембраны клеток и пр. — в различных биообъектах может приводить к значительным изменениям в клеточных функциях и способствовать биологическому повреждению. Помимо этого, при окислении биомакромолекул образуются различные высокомолекулярные и низкомолекулярные соединения, которые могут инициировать дальнейшее распространение окислительного повреждения в объеме обрабатываемого биообъекта [2].

Для выяснения протекания радиационно-индуцированных превращений молекул в биообъекте был осуществлён комплекс исследований изменения содержания различных молекулярных соединений после радиационного воздействия низкоэнергетическими ускоренными электронами и тормозными рентгеновскими фотонами. В результате получены данные о воздействии различных физических характеристик ионизирующего излучения на модельные образцы, включающие в себя стандартные летучие органические соединения, белковые молекулы БСА и каталазу, ненасыщенные жирные кислоты и молекулы крахмала. Данные ГХ-МС анализа позволили выявить летучие органические соединения, образующиеся в результате радиационного воздействия на различные биомакромолекулы, являющиеся основными составляющими любого биообъекта. Установлено, что биомакромолекулы имеют различную радиочувствительность к воздействию ионизирующего излучения, которая зависит от ряда факторов, включая начальную концентрацию молекул в биообъекте, тип излучения, дозу и мощность дозы. Помимо этого, повреждение данных биомишеней приводит к различному профилю летучих органических соединений и их радиационно-химическому выходу. Полученные данные могут иметь решающее значение при планировании радиационной обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции.

**ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ  
СОРТОВ ГАЛА И ФИОЛЕТОВЫЙ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ  
И РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ПРОФИЛЬ ЛЕТУЧИХ  
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КЛУБНЯХ НОВОГО УРОЖАЯ**

**Межетьова Ирина Тимофеевна**

Магистрант

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия;*

E-mail: mezhetova.it19@physics.msu.ru

В настоящее время радиационная обработка продуктов питания является одной из наиболее перспективных физических технологий в сельском хозяйстве, так как позволяет решать широкий спектр задач, стоящих перед производителями: увеличение сроков хранения продукции, эффективное подавление активности патогенной микрофлоры, стимуляция прорастания сельскохозяйственных культур и пр. [1, 2]. Семенной картофель является сложным объектом для исследования влияния радиационной обработки, поскольку с одной стороны необходимо подавить фитопатогены на поверхности клубней с целью улучшения качества посевного материала, а с другой — не снизить урожайность культур [3, 4]. При оценке эффективности использования ионизирующего излучения для обработки посевного материала важно оценить не только характеристики облучённых клубней (всхожесть и урожайность), но и характеристики урожая, полученного из облучённого семенного материала. Такой подход позволяет более комплексно оценить влияние радиационной обработки и точнее определить оптимальный диапазон доз для обработки семенного материала.

Целью данной работы являлась оценка профиля летучих органических соединений в картофеле сортов «Гала» и «Фиолетовый», выращенных из клубней, ранее облучённых низкоэнергетическими пучками ускоренных электронов и рентгеновским излучением в различных дозах.

Клубни картофеля сортов «Гала» и «Фиолетовый» облучали на рентгеновском аппарате РАП-100 с рентгеновской трубкой 1BPV23-100 (молибденовый анод), максимальная энергия тормозных фотонов — 80 кэВ (ФМБЦ им. Бурназяна, Россия). Радиационная обработка ускоренными электронами проводилась на ускорителе электронов УЭЛР-1-25-Т-001 (НИИЯФ МГУ, Россия) с максимальной энергией 1 МэВ. Для обеспечения максимальной равномерности дозы облучение клубней проводилось с двух противоположных сторон в дозах 0 Гр, 5 Гр, 10 Гр, 15 Гр, 20 Гр и 25 Гр. После облучения картофель доставляли в СФНЦА РАН для посева в поля, а после сбора урожая клубни нового урожая направляли в МГУ для последующего анализа.

Для проведения химического анализа профиля летучих органических соединений картофельную мякоть натирали на пластмассовой терке, после чего образцы подвергали газохроматографическому масс-спектрометрическому анализу на аппарате Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Япония) со встроенным Headspace Autosampler HT200H (HTA, Италия). Соединения идентифицировали путём сравнения полученных масс-спектров неизвестных соединений со спектрами из библиотеки NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2008 (NIST 08) с помощью ПО GCMSsolution.

В результатах исследования было обнаружено 34 летучих соединения в картофеле сорта «Гала» и 50 соединений в картофеле сорта «Фиолетовый». Большинство из них относится к классам альдегидов, спиртов, кетонов, а также фуранов, алканов, алкенов



и серосодержащих соединений. Интенсивность каждого соединения от поглощённой дозы излучения нелинейно менялась как от сорта картофеля, так и от типа ионизирующего излучения.

Представлены тепловые карты зависимости относительной площади пиков от поглощённой дозы материнским клубнем. Видно, что при воздействии рентгеновским излучением число зарегистрированных соединений было больше в картофеле обоих сортов по сравнению с картофелем, облучённым ускоренными электронами. Также в зависимости от сорта картофеля и типа излучения пик содержания летучих соединений наблюдался при разных дозах.

Для установления маркеров воздействия ионизирующего излучения на материнские клубни, а также для описания дозовых зависимостей и построения математических моделей образования летучих органических соединений, исследования продолжаются на настоящий момент.

## **Секция 4**

# **Лучевая терапия и лучевая диагностика**

11 декабря 2024. Лекторий коворкинга 1 учебного корпуса МГУ

**Председатели секции:** доцент кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ, к.ф.-м.н. Е.Н. Лыкова; зав. лабораторией РМФ ОЯФММП НИИЯФ МГУ Ф.Р. Студеникин

## **ОЦЕНКА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ПРИ НАЛИЧИИ ИМПЛАНТОВ В ВИДЕ КОРОНОК**

**Андреев Михаил Романович**

Аспирант

*Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия*

E-mail: ipod3390@gmail.com

**ВВЕДЕНИЕ:** В современной лучевой гамма — терапии одной из сложных задач является облучение полости рта, наличие имплантов, очевидно, только усложняет этот процесс, искажая дозное поле. При этом допустимые отклонения находятся в интервале 3%.

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Проведение оценки изменений дозы внутреннего рассеяния и поглощения излучения в полости рта, при наличии имплантатов(коронки).

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В качестве облучаемого объекта выступал тканеэквивалентный фантом из твердой воды со средней электронной плотностью 0 НУ( в единицах Хаунсфилда). Дополнительно использовался стоматологический фантом челюсти человека с электронной плотностью зубов 1600 НУ, включавшим бюлос, имитирующий щеку со средней электронной плотностью -4 НУ, а также металлические коронки из нержавеющей стали (толщина стенки составляет 0.3 мм, а электронная плотность — 8000 НУ).

Облучаемый объект анализировался с помощью компьютерной томографии (КТ) для разметки и дальнейшей подготовки плана лучевой терапии. Во время КТ исследования фантом был поставлен на специальную подставку с регулируемым наклоном.

Характеристики пучка: 6МэВ, расстояние до изоцентра 100 см, размер поля 7×7 см, отпускаемая доза 200 MU или 2 Гр. Положение гантри соответствовало 90 градусам.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** С помощью разработанного фантома и методики планирования облучения получены оценки поглощенных доз языка с учетом использования имплантатов (коронки), проведено сравнение значений в рамках модели колебаний разработанного фантома.

Оценка поглощенной дозы определялась с помощью гамма камеры Fc-65E. Отклонение в экспериментальных данных при облучении фантома без использования имплантатов и с ним составляет менее 1%, а влияние наклона оказывает вклад до 3%.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Разработан фантом имитирующий челюсть человека при гамма- лучевой терапии. Проведены исследования распределения поглощенных доз в зависимости от использования имплантатов и геометрических факторов, а также предложена модель для оценки поглощенной дозы. Автоматизированный контроль множественных метастазов на основе автосегментации с применением сверточной нейронной сети.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ**

**Дадагов Джабраил Асламбекович**

Студент (магистр)

*Чеченский государственный университет, Факультет физики  
и информационно-коммуникационных технологий, Грозный, Россия*

E-mail: ddadagov@bk.ru

Применение излучений и радионуклидов в медицине способствовало появлению новых, более эффективных методов профилактики, диагностики и лечения многих заболеваний. Ядерные методы дают возможность диагностировать на более ранних стадиях

и эффективнее лечить считавшиеся ранее неизлечимыми и смертельными заболевания, в том числе рак, что не только позволяет многим пациентам бороться с болезнью, но и дает им существенные шансы на излечение.

Практически с момента их открытия началось использование ионизирующих излучений в различных отраслях мирового хозяйства и в первую очередь в медицине. Структура применения ионизирующих излучений в медицине представлена на рис. 1. Она включает в себя несколько основных направлений: рентгеновскую диагностику и терапию, лучевую терапию и ядерную медицину.

Воздействие ионизирующего излучения приводит к разрушению связей между атомами и молекулами, из которых состоят ткани организма. Степень чувствительности различных тканей к облучению неодинакова. Большая чувствительность кроветворных органов к радиации лежит в основе определения характера лучевой болезни. На молекулярном уровне ионизирующим излучением поражаются молекулы и атомы. Физически это означает разрыв межатомных и межмолекулярных связей и образование новых связей между молекулами и атомами, а также ионизация атомов и молекул. Воздействие ионизирующих излучений на клетку описывается числом актов ионизации, произошедших в различных структурах клетки.

Для облучения биологических объектов используются тяжелые заряженные частицы, причем для сравнения их биологического действия выделяют протоны, ионы и нейтроны. Они относятся к плотно-ионизирующему излучению. Пучки электронов, фотонов и рентгеновское излучение представляют собой редко-ионизирующее излучение. При высоких энергиях этих частиц в тканях он может достигать нескольких сантиметров. Действие ионизирующих излучений разного типа на биологические ткани неодинаково. Поглощенная доза в биологических тканях для разных видов ионизирующих излучений сильно зависит от линейных потерь энергии частицами.

Применение радиоактивных элементов оказывает огромное влияние в достижениях и дальнейшем развитии современной медицины. Радиоактивное излучение нашло широкое применение как в диагностике, так и в лечении различных заболеваний. В настоящее время с помощью радионуклидной диагностики можно исследовать практически любой орган или ткань организма.

### Источники и литература

1. Черняев, А. П. Радиационные технологии в медицине. Часть 1. Медицинские ускорители / А. П. Черняев, М. А. Колыванова, П. Ю. Борщеговская // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. — 2015. — № 6. — С. 28–36.
2. Иванова, А. А. Радиоактивные изотопы в медицине / А. А. Иванова // Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования : сборник статей по материалам CLXV студенческой международной научно-практической конференции, Новосибирск, 25 мая 2023 года. Том 10 (164). — Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская академическая книга» 2023. — С. 265–268.

### Иллюстрации



Рис. 1: Структура использования ионизирующих излучений в медицине

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ МНОЖЕСТВЕННЫХ МЕТАСТАЗОВ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

**Кобякова Татьяна Андреевна**

Студент (магистр)

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Факультет экспериментальной и теоретической физики, Москва, Россия*

E-mail: tasha\_too@mail.ru

После лечения метастазов пациенты проходят повторные МРТ-исследования для оценки динамики и возможного появления новых очагов. Эти регулярные обследования позволяют врачу-радиотерапевту контролировать изменения в ранее обнаруженных метастазах и выявлять новые образования, которые могли возникнуть после терапии. Анализ включает измерение объема старых очагов и сравнение их размеров с предыдущими сканированиями, что позволяет определить, уменьшаются ли они или остаются стабильными, а также выявление новых метастазов.

Современные методы лучевой диагностики и терапии требуют высокой точности в сегментации и отслеживании динамики очаговых образований головного мозга для объективной оценки эффективности лечения. Автоматизированный подход на основе искусственного интеллекта предлагает эффективные решения для этой задачи, объединяя этапы предварительной регистрации изображений и сегментации.

В основе методики лежит процесс совместной регистрации МР-изображений всех последовательностей, где каждое текущее изображение совмещается с предшествующим, что минимизирует артефакты, связанные с движением пациента и различиями в условиях сканирования. Это достигается с помощью библиотеки ANTsPy, которая обеспечивает выравнивание изображений с высокой точностью. Такой подход позволяет исключить смещения и искажения, улучшая интерпретацию результатов на этапе сегментации и дальнейшего анализа.

После этапа регистрации изображения импортируются в ИИ-модель Med-Seg, основанную на DenseNet121. Модель принимает зарегистрированные МР-изображения и предсказывает присутствие очагов на каждой снимке, генерируя маски для каждого образования. Способность DenseNet121 учитывать как локальные, так и глобальные признаки изображения позволяет достичь высокого уровня точности в сегментации, что делает её идеальной для использования в медицинской практике. Сгенерированные маски выявляют контуры и объемы очагов, давая представление о распространенности и характере опухолевых образований. Использование архитектуры DenseNet121, проверенной в задачах медицинской визуализации, позволяет глубоко анализировать структуры и изменения очагов, обеспечивая высокую точность и воспроизводимость результатов.

Так как последовательные МР-изображения совмещены, предполагается, что центр масс каждого очага сохраняет свое положение или смещается незначительно. Для анализа изменений разработана матрица пересечений, сформированная путем логического умножения масок на разных временных точках. Этот подход позволяет выделить стабильные очаги, исчезнувшие или вновь появившиеся, и оценить объем каждого из них.

Критерии RANO применяются для количественной оценки ответа на лечение, что особенно важно для точного мониторинга изменений при множественных метастазах.

Предложенный метод значительно облегчает клинический процесс, сокращая временные затраты и повышая точность оценки изменений очагов. Автоматизация не только

минимизирует субъективные ошибки, но и позволяет стандартизировать процесс измерений, что важно для надежной оценки лечения. Полученные данные, включая объемные изменения и метрики эффективности терапии, сохраняются в формате csv/txt, что упрощает их последующую обработку и сопоставление. Этот метод показывает высокую перспективу для практического применения и позволяет улучшить подходы к планированию и контролю лечения.

## **НОВЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ ФТОРИДА ЦЕРИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ФЛАВИНМОНОНУКЛЕОТИДОМ, ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ**

**Корниенко Анастасия Ивановна**

Студент (магистр)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Биотехнологический факультет, Москва, Россия*

E-mail: An.Kor7@yandex.ru

*Резюме.* В исследовании предложен метод синтеза нового фотосенсибилизирующего агента для потенциального применения в рентгеновской фотодинамической терапии. Были оценены его физико-химические свойства и влияние на клеточные культуры *in vitro*. Показано, что полученные наночастицы обладают необходимыми характеристиками для использования в биомедицине и не проявляют цитотоксичность в отсутствии ионизирующего излучения, но снижают жизнеспособность клеток при воздействии рентгеновского излучения.

*Ключевые слова:* рентгеновская фотодинамическая терапия, фотосенсибилизатор, наночастицы, фторид церия, флавинмононуклеотид.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) является одним из эффективных методов лечения поверхностных опухолей. Принцип стандартной ФДТ заключается в накоплении фотосенсибилизатора (ФС) в опухолевой ткани с последующим воздействием на нее света с определенной длиной волны (чаще УФ/видимом и ИК-диапазоне) с последующим образованием цитотоксических активных форм кислорода (АФК) [1]. Основным недостатком такого метода является ограниченная глубина проникновения используемого в терапии излучения (до 1 см), что затрудняет его применение к глубоким и крупным опухолям [1, 2]. Рентгеновские лучи, являясь электромагнитной волной с высокой проникающей способностью, обладают преимуществом неограниченной глубины проникновения в ткани по сравнению с УФ, видимым и ближним ИК излучением. В связи с этим недавно было предложено использовать рентгеновское излучение в качестве источника возбуждения в ФДТ. Новый подход для глубокой терапии опухолей был назван рентгеновской ФДТ (РФДТ) [3]. В связи с чем, актуальной проблемой является поиск и разработка новых ФС-сцинтилляторов. Для этой цели перспективными являются сцинтилляционные наноматериалы, такие как наночастицы (НЧ) на основе редкоземельных элементов, например  $\text{CeF}_3$ ,  $\text{LaF}_3$ ,  $\text{NaYF}_4$ ,  $\text{Gd}_2(\text{WO}_4)_3$  и другие [4].

В данной работе мы предлагаем в качестве комбинированного сцинтилляционного ФС – НЧ фторида церия ( $\text{CeF}_3$ ), модифицированные флавинмононуклеотидом (ФМН).  $\text{CeF}_3$  является высокоэффективным сцинтиллятором, люминесценция которого характеризуется широким пиком в УФ-области с максимумом около 325 нм [5], а ФМН в свою очередь проявляет сильное поглощение в УФ/видимой области при 220, 265, 375 и 445 нм [6]. Эти

данные позволяют предположить возможность передачи энергии от  $\text{CeF}_3$  к ФМН и его фотоактивацию.

Таким образом, целью данного исследования являлись синтез НЧ  $\text{CeF}_3$  и  $\text{CeF}_3$ , модифицированных ФМН, анализ их физико-химических свойств и исследование цитотоксичности.

НЧ  $\text{CeF}_3$  были синтезированы по методике осаждения в спиртовых средах [7] с последующей фукционализацией их ФМН. Методом динамического рассеяния света было показано, что все НЧ имеют гидродинамический диаметр менее 200 нм, что позволяет использовать их в биомедицинских целях. Методом просвечивающей электронной микроскопии было показано, что полученные НЧ обладают преимущественно сферической формой. Методом электрофоретического рассеяния света показано, что заряд НЧ находится в диапазоне значений от +37 до +47 мВ, что свидетельствует о высокой стабильности и низкой степени агломерации синтезированных нами НЧ.

Исследование спектральных характеристик методами спектрофотометрии и спектрофлуориметрии косвенно подтвердило возможность передачи энергии возбуждения от  $\text{CeF}_3$  к ФМН в синтезированной нами наносистеме. Установлено, что квантовый выход флуоресценции НЧ  $\text{CeF}_3$  составляет 0,42, а в комплексе  $\text{CeF}_3$ -FMN — 0,11. Это позволяет сделать вывод о том, что в синтезированной нами наносистеме ФМН эффективно поглощает свет, излучаемый возбужденным  $\text{CeF}_3$ . Анализ образования АФК с использованием дихлордигидрофлуоресцеина диацетата ( $\text{H}_2\text{DCF-DA}$ ) при разном pH и воздействии рентгеновским излучением показал, что в кислой и нейтральной среде синтезированные нами наночастицы проявляют прооксидантные свойства и увеличивают количество АФК в 14 и 8 раз соответственно относительно контроля (без НЧ).

Оценка цитотоксичности синтезированных наночастиц  $\text{CeF}_3$  и  $\text{CeF}_3$ , модифицированных ФМН, проводилась методами МТТ-теста и Live/Died-анализа на клетках мышинных фибробластов (L929) и меланомы мыши (B16-F10). Клетки инкубировали с исследуемыми образцами в концентрациях  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  М. Установлено, что в исследуемом диапазоне концентраций исследуемые НЧ  $\text{CeF}_3$  и  $\text{CeF}_3$ -FMN, не проявляют токсического действия на нормальные (L929) и трансформированные клетки (B16-F10) не приводят к снижению их жизнеспособности и не достигают IC50 в течение 24–72 часов.

При исследовании влияния наночастиц с последующим воздействием рентгеновским излучением на выживаемость клеток в клоногенном тесте показано, что среднелетальная доза ( $D_0$ ) для клеток фибробластов мыши (L929) в присутствии наночастиц  $\text{CeF}_3$  в концентрациях  $10^{-7}$  и  $10^{-3}$  М равны 3,4 и 2,2 Гр соответственно, а в присутствии наночастиц  $\text{CeF}_3$ -FMN — 4,8 и 2,7 Гр. Для клеток мышинной меланомы (B16-F10) значения  $D_0$  в присутствии  $\text{CeF}_3$  в концентрации наночастиц  $10^{-7}$  и  $10^{-3}$  М составили 1,3 и 0,7 Гр. При использовании модификации с ФМН среднелетальная доза в концентрациях  $10^{-7}$  и  $10^{-3}$  М соответствует 1,5 и 1,2 Гр.

Таким образом, исследуемые наночастицы в концентрациях  $10^{-7}$ – $10^{-3}$  М не оказывают токсического действия на нормальные и трансформированные клетки в отсутствии ионизирующего излучения, но при воздействии рентгеновского излучения данные наноматериалы начинают снижать жизнеспособность клеток.

Полученные результаты являются многообещающими для потенциальных исследований наночастиц  $\text{CeF}_3$  и его модификации с ФМН в данной области.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-23-00564.

### Источники и литература

1. Correia J. H. et al. Photodynamic therapy review: principles, photosensitizers, applications, and future directions //Pharmaceutics. — 2021. — Т. 13. — №. 9. — С. 1332.

2. Wang G. D. et al. X-ray induced photodynamic therapy: A combination of radiotherapy and photodynamic therapy //Theranostics. — 2016. — Т. 6. — №. 13. — С. 2295.
3. Chen W., Zhang J. Using nanoparticles to enable simultaneous radiation and photodynamic therapies for cancer treatment //Journal of nanoscience and nanotechnology. — 2006. — Т. 6. — №. 4. — С. 1159–1166.
4. Yao B. et al. X-ray excited luminescent nanoparticles for deep photodynamic therapy //RSC advances. — 2023. — Т. 13. — №. 43. — С. 30133–30150.
5. Clement S. et al. Bright, water-soluble CeF<sub>3</sub> photo-, cathodo-, and X-ray luminescent nanoparticles // Journal of Nanoparticle Research. — 2015. — Т. 17. — С. 1–9.
6. Edwards A. M. Structure and general properties of flavins //Flavins and Flavoproteins: Methods and Protocols. — 2014. — С. 3–13.
7. Shcherbakov A. B. et al. Cerium fluoride nanoparticles protect cells against oxidative stress // Materials Science and Engineering: C. — 2015. — Т. 50. — С. 151–159.

### **ДОСТИЖЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Маслахова Аделина Альбертовна**

Студент (специалист)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия*

E-mail: Deliya.kind@yandex.ru

Компьютерная томография (КТ) является одним из самых популярных методов медицинской визуализации, позволяющим получать качественные трехмерные изображения внутренних органов и тканей, и играющим важную роль в диагностике заболеваний и планировании лечения. Благодаря своей способности четко отображать анатомические структуры, КТ находит широкое применение в различных областях медицины, таких как травматология, онкология и кардиология. Тем не менее, использование ионизирующего излучения в КТ вызывает опасения относительно радиационной безопасности пациентов.

В последние годы был достигнут значительный прогресс в снижении дозы облучения при проведении КТ-исследований. Современные достижения включают разработку низкодозовых протоколов и усовершенствованных алгоритмов реконструкции изображений, которые позволяют уменьшить радиационную нагрузку без ухудшения качества визуализации.

1. Перспективные направления в области КТ включают использование искусственного интеллекта для автоматизации процессов диагностики и оптимизации параметров сканирования, что может значительно повысить эффективность и безопасность процедур

2. Продолжающиеся исследования направлены на создание новых методов и технологий, которые обеспечат еще более точную и безопасную диагностику, минимизируя риски для пациентов.

Данная работа посвящена обзору современных достижений и тенденций в области компьютерной томографии, с акцентом на физические основы, аппаратные технологии и инновационные подходы к снижению дозы облучения.

#### **Источники и литература**

1. Ginat D. T., Gupta R. Advances in computed tomography imaging technology //Annual review of biomedical engineering. — 2014. — Т. 16. — №. 1. — С. 431–453.
2. McCollough C. H., Leng S. Use of artificial intelligence in computed tomography dose optimisation //Annals of the ICRP. — 2020. — Т. 49. — №. 1\_suppl. — С. 113–125.



## **ОБЗОР ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ, СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КЛИНИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ**

**Рябова Екатерина Алексеевна**

Студент (специалист)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия*

E-mail: katy150104@yandex.ru

В настоящее время магнитно-резонансная томография (МРТ) занимает значительное место среди методов медицинской визуализации. Эта методика предлагает уникальные возможности для диагностики и мониторинга различных заболеваний благодаря способности получать высококачественные изображения мягких тканей. С помощью МР-исследований возможно обнаружение патологических изменений на ранних стадиях, а также отслеживание динамики заболеваний, что позволяет оценивать эффективность проводимого лечения. МРТ считается одним из самых информативных и безопасных методов медицинской визуализации, что способствует его широкому применению в таких областях, как гастроэнтерология, кардиология и неврология, а также в планировании лучевой терапии.

Несмотря на значительные достижения в области МРТ, эта сфера продолжает развиваться. В настоящее время активно развивается создание новых контрастных средств, которые могут существенно улучшить качество снимков. Среди многообещающих направлений выделяют мультимодальную визуализацию, сочетающую МРТ с компьютерной томографией (КТ) и позитронно-эмиссионной томографией (ПЭТ), что позволяет более точно диагностировать онкологические заболевания. Для повышения качества интерпретации МР-изображений, уменьшения количества диагностических ошибок и автоматизации диагностики внедряются алгоритмы искусственного интеллекта. Кроме того, разработка новых технологий, таких как параллельная МРТ, и совершенствование методов импульсной последовательности, также открывает перспективные горизонты для дальнейшего прогресса.

Данная работа посвящена анализу исследований, касающихся современных достижений и тенденций в МРТ. Основное внимание уделяется физическим основам, аппаратным технологиям и методам формирования изображений, чтобы более подробно осветить важнейшие направления в повышении качества и точности получаемых изображений.

### **Источники и литература**

1. F. Bloch Nuclear Induction / F. Bloch // Physical review. — 1946. — № 70. — С. 460–474.
2. V S Khoo, D L Joon New developments in MRI for target volume delineation in radiotherapy / V S Khoo, D L Joon // British Journal of Radiology. — 2006. — № 79. — С. S2–S15.

## **КИНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ГЕМАТОМИОКАРДИАЛЬНОГО БАРЬЕРА У ПАЦИЕНТОВ С МНОГОСОСУДИСТЫМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ**

**Василевич Карина Васильевна**

Студент (специалист)

*Сибирский государственный медицинский университет,  
Студенческое научное общество им. Н.И. Пирогова, Томск, Россия*

E-mail: karinavas0225@gmail.com

**ВВЕДЕНИЕ:** На сегодняшний день ишемическая болезнь сердца (ИБС) занимает лидирующие позиции среди заболеваний сердечно-сосудистой системы, причиной которой может быть многососудистое поражение коронарных артерий. Согласно результатам коронарной ангиографии, у пациентов с ИБС многососудистое поражение коронарного русла встречается примерно в 70% случаев. В группу повышенного риска входят люди старше 60 лет, а также пациенты с артериальной гипертензией и сахарным диабетом. Как правило, в эту группу входят пациенты со сложными, крайне неблагоприятными поражениями коронарных артерий и серьёзными сопутствующими заболеваниями.

Среди визуальных лучевых технологий ключевую роль играет магнитно-резонансная томография (МРТ), которая актуальна не только в первичной диагностике большинства заболеваний, но и в оценке их течения и эффективности лечения. МРТ позволяет подробно изучить состояние сердца, определить глубину и локализацию повреждения. По мере развития технологии визуализация перфузии миокарда МРТ стала способна количественно оценивать микроциркуляцию миокарда, точно определять ишемическую болезнь миокарда и оценивать жизнеспособность миокарда и рубцы в сочетании с исследованием с поздним усилением гадолиния (LGE). Оценка кинетики накопления и выведения контрастного вещества из миокарда служит информативным маркером наличия и степени повреждения сердечной мышцы при различных сердечно-сосудистых заболеваниях. Таким образом, изучение кинетики проницаемости миокарда с помощью МРТ сердца является актуальной темой для современной кардиологии. Ее решение может способствовать улучшению ранней диагностики и мониторинга состояния сердечной мышцы у пациентов с многососудистым коронарным атеросклерозом.

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Изучить особенности кинетики контрастного препарата через гематомиокардиальный барьер у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий с помощью магнитно-резонансной томографии.

В исследование было включено 18 пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий, планово поступивших в период с 2020 по 2024 гг. в НИИ кардиологии Томского НИМЦ с целью определения дальнейшей тактики лечения.

При госпитализации всем пациентам было проведено МРТ сердца с контрастированием, а также перфузионная сцинтиграфия миокарда (ПСМ). МРТ сердца с контрастированием проводилось на томографе Vantage Titan (Toshiba Medical Systems Corporation, Япония) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. В качестве контрастного вещества был использован парамагнитный контрастный препарат гадобутрол из расчета 0,15–0,2 мл на 1 кг массы тела пациента. МРТ изображений были получены с использованием последовательности steady-state free precession (SSFP) на задержке дыхания по длинной оси в 4-, 2-камерной плоскости ЛЖ и по короткой оси. Изображения LGE были получены с помощью последовательности Inversion Recovery через 10–15 мин после введения контраста. МР-перфузионные изображения были получены по короткой оси ЛЖ в фазу динамического контрастирования. Постпроцессинг МРТ-изображений проводился с помощью

программного обеспечения CVI42 (Circle Cardiovascular Imaging, Канада). Оценивались следующие перфузионные показатели: максимальная интенсивность сигнала (Maximum Signal Intensity, Max SI), перфузионный индекс (Perfusion index, PI), время до максимума концентрации (Time to max, Tmax), максимальный наклон (Max slope). Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием программы Jamovi 2.2.5 (Сидней, Австралия).

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Средний возраст пациентов  $65,5 \pm 2,1$  лет. Из них женщины 4 (20%) и мужчин 14 (80%) человека. В зависимости от кинетики накопления контраста было проанализировано 288 сегментов и разделены на две группы: 1 — с накоплением контраста ( $n=72$ ) и 2 — без накопления контраста ( $n=216$ ). У пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий с признаками фиброзных изменений в сегментах левого желудочка было обнаружено статистически значимое снижение перфузионных показателей в состоянии покоя: максимальная интенсивность сигнала (Max SI) — 2441 (1920,2; 2831,1) vs 2681,2 (2203,3; 3018)  $p=0.003$ ; перфузионный индекс (PI) — 0,2 (0,1; 0,3) vs 0,2 (0,2; 0,3)  $p=0.018$ ; максимальный наклон (Max\_slope) — 71,2 (55,3; 84,4) vs 84,9 (66,6; 105,7)  $p < .001$  — для группы с накоплением контраста и его отсутствием соответственно. При сравнении групп не было выявлено статистически значимого различия по времени до максимума концентрации (Tmax): 67,2 (54,3; 77,3) vs 67,8 (54,5; 78,2), для группы с накоплением контраста и его отсутствием.

Корреляционный анализ между показателями МР-перфузии и показателями ПСМ не показал значимой связи как при сравнении по регионам кровоснабжения отдельно взятой коронарной артерии, так и глобально по левому желудочку.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** В ходе исследования было выявлено, что у пациентов с МСП наблюдаются сниженные показатели перфузии, такие как Max SI, PI\_slope и Max\_slope, в сегментах левого желудочка, которые демонстрируют признаки повреждения. Это свидетельствует о том, что хроническая ишемия, характерная для группы МСП, приводит к нарушению перфузии сердца, даже в состоянии покоя. Исследование также показало, что МР-перфузионные показатели в состоянии покоя не коррелируют с показателями перфузии, полученными при помощи ПСМ. Наиболее вероятной причиной этого явления является феномен сбалансированной ишемии, при котором происходит равномерное нарушение кровоснабжения всех сегментов миокарда левого желудочка. Для подтверждения этих результатов в более крупных выборках и оценки их клинической значимости необходимы дальнейшие исследования.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ, ВОЗНИКАЮЩИХ В КОЛЛИМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРОТОННОГО УСКОРИТЕЛЯ**

**Жаринов Иван Федорович**

Студент (специалист)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия*

E-mail: zharinov.if20@physics.msu.ru

В настоящее время в медицине активно развиваются различные методы лучевой терапии, среди которых облучение протонными пучками занимает важное место благодаря своей высокой эффективности в лечении онкологических заболеваний. На сегодняшний

день в мире функционирует 123 центра, предлагающих протонную лучевую терапию [1]. При взаимодействии протонов с веществом образуется значительное количество вторичных частиц, которые распространяются во всех направлениях. Особое внимание следует уделить вторичным нейтронам, так как они имеют сравнительно высокий коэффициент качества — от 5 до 20, а также значительный пробег в материале.

В данной работе были исследованы характеристики вторичных нейтронов, возникающих при облучении водного фантома протонным пучком, прошедшим через систему коллиматоров. Исследование проводилось с использованием компьютерного моделирования на базе программного пакета GEANT4, который основан на методе Монте-Карло.

В ходе численного эксперимента был получен модифицированный пик Брэгга путем нормального падения монохроматического пучка протонов на модулятор переменной толщины, вращающийся вокруг своей оси. В клинической практике такие пучки применяются для облучения протяженных опухолей, части которых располагаются на различных глубинах. Модифицированный пучок затем направлялся на поверхность фантома — куба со стороной 20 см. В центральной области куба было проведено измерение глубинно-дозового распределения, а также исследован спектр нейтронов, образовавшихся в результате прохождения пучка через набор коллиматоров и фильтров. Моделирование осуществлялось с использованием различных физических листов, таких как QGSP\_BIC, QGSP\_BIC\_HP, QGSP\_BERT, QGSP\_BERT\_HP, FTFP\_BERT, FTFP\_BERT\_HP и Shielding, при этом анализировалась зависимость полученных результатов от выбора конкретного физического листа. Результаты исследования обсуждаются.

### Источники и литература

1. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».
2. Черняев А. П. Ионизирующие излучения. / А. П. Черняев — 4-е изд., испр. и дополн. — М.: Издательский дом «КДУ», 2021.
3. Климанов В. А., Крамер-Агеев Е. А., Смирнов В. В. Дозиметрия ионизирующих излучений: учебное пособие / под ред. В. А. Климанова. М.: НИЯУ МИФИ, 2015.
4. Беспалов В. И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. — Томск: издательство Томского политехнического университета, 2008.
5. Geant4 User's Guide For Application Developers (<https://geant4-userdoc.web.cern.ch/UsersGuides/AllGuides/html/index.html>).

### Иллюстрации

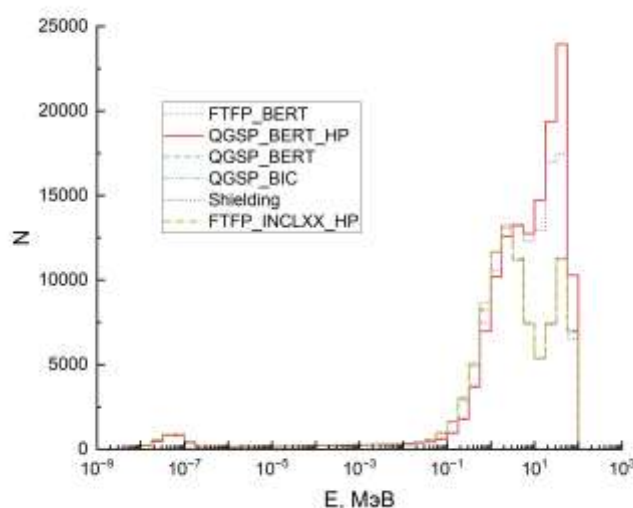


Рис. 4.1: Спектр вторичных нейтронов после прохождения коллимационной системы

## ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

**Зеленова Софья Александровна**

Студент (специалист)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия*

E-mail: zelenovasa@my.msu.ru

В настоящее время протонная лучевая терапия является одним из перспективных методов лечения онкологических заболеваний. Главным преимуществом данного метода лучевой терапии — возможность обеспечения более точного доставки дозы к целевому объему, минимизируя воздействие ионизирующего излучения на близлежащие здоровые ткани. Это достигается благодаря особенности взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом: они отдают основную часть своей энергии в конце своего пути, стремительно ионизируя атомы среды. Для протонов эта особенность описывается пиком Брэгга. Однако при прохождении различных элементов коллимационной системы пучком протонов в результате ядерных реакций могут рождаться вторичные частицы: фотоны, протоны и нейтроны. Кроме того около 60% вклада в эквивалентную дозу нейтронов, вносят внутренние нейтроны, образовавшиеся непосредственно в тканях пациента [1]. Поскольку нейтроны обладают высокой относительной биологической эффективностью, они могут вносить неучтенный вклад в эквивалентную дозу, получаемую пациентом.

Исследования, посвященные данной проблеме, направлены на оценку доз от вторичных нейтронов и возможности её минимизации. В ряде исследований наблюдается резкое увеличение дозы вторичных нейтронов при увеличении исходной энергии протонного пучка и поля облучения [2, 3, 4, 5, 6]. Так же при сравнении различных систем доставки пучка отмечается преимущество в снижении количества вторичных нейтронов для методов активного сканирования [3, 7, 8].

Настоящая работа посвящена обзору современных тенденций в изучении вторичных нейтронов при протонной лучевой терапии.

### Источники и литература

1. Islam, M. R., Zheng, Y., Collums, T. L., Monson, J. M., Ahmad, S., Benton, E. R. (2017). Measurement and simulation of secondary neutrons from uniform scanning proton beams in proton radiotherapy. *Radiation Measurements*, 96, 8–18.
2. Shin, D., Yoon, M., Kwak, J., Shin, J., Lee, S. B., Park, S. Y., . . . Cho, K. H. (2009). Secondary Neutron Doses for Several Beam Configurations for Proton Therapy. *International Journal of Radiation Oncology\*Biology\*Physics*, 74(1), 260–265.
3. Liao, Y.-L., Chen, H.-H., Chen, H.-Y., Huang, H.-C., Yeh, C.-Y., Tsai, H.-Y. (2017). Secondary neutron ambient dose equivalent measurement of the wobbling system of a proton beam radiotherapy facility. *Radiation Physics and Chemistry*, 137, 116–120.
4. Mojz'eszek, N., Farah, J., K lodowska, M., Ploc, O., Stolarczyk, L., Waligo'wski, M. P. R., Olko, P. (2017). Measurement of stray neutron doses inside the treatment room from a proton pencil beam scanning system. *Physica Medica*, 34, 80–84.
5. Farah, J., Mares, V., Romero-Expo'sito, M., Trinkl, S., Domingo, C., Dufek, V., . . . Harrison, R. M. (2015). Measurement of stray radiation within a scanning proton therapy facility: EURADOS WG9 intercomparison exercise of active dosimetry systems. *Medical Physics*, 42(5), 2572–2584.

6. Lee, C., Lee, S., Chung, K., Han, Y., Chung, Y. H., Kim, J. S. (2016). Secondary Neutron Dose Measurement for Proton Line Scanning Therapy. *Progress in Medical Physics*, 27(3), 162.
7. Lee, S., Lee, C., Shin, E. H., Cho, S., Kim, D.-H., Han, Y., . . . Kim, J. S. (2017). MEASUREMENT OF NEUTRON AMBIENT DOSE EQUIVALENT IN PROTON RADIOTHERAPY WITH LINE-SCANNING AND WOBBLING MODE TREATMENT SYSTEM. *Radiation Protection Dosimetry*, 177(4), 382–388.
8. Agosteo, S., Birattari, C., Caravaggio, M., Silari, M., Tosi, G. (1998). Secondary neutron and photon dose in proton therapy. *Radiotherapy and Oncology*, 48(3), 293–305.

## **ОЦЕНКА ВНУТРИФРАКЦИОННОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ДОЗЫ ПРИ ОБЪЕМНО- МОДУЛИРОВАННЫХ ПЛАНАХ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОПУХОЛЯМИ ГОЛОВЫ И ШЕИ**

**Зотова Наталья Алексеевна**

Студент (магистр)

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Факультет экспериментальной и теоретической физики, Москва, Россия*

E-mail: physics98@bk.ru

Лучевая терапия опухолей головы и шеи требует высокой точности из-за близости критически важных органов (как, например, мозг, глаза и спинной мозг). При лечении с помощью объемно-модулированной арочной терапии (VMAT) и других высокоэнергетических методик, такие параметры, как позиционные ошибки и изменение объема мягких тканей пациента, могут существенно влиять на распределение дозы и эффективность лечения. Ошибки в позиционировании пациента или потеря веса могут привести к неправильному лечению опухоли или облучению здоровых тканей. Поэтому очень важно следить за точностью позиционирования пациента, а также отслеживать любые конституционные изменения в теле пациента.

В данном докладе представлено исследование, проведенное в рамках бакалаврской работы на тему «Оценка внутрифракционной верификации дозы при объемно-модулированных планах облучения пациентов с опухолями головы и шеи» в клинике лучевой терапии и радиологии Strahlentherapie Radiologie Muenchen.

Исследование проводилось с использованием линейного ускорителя Elekta Versa HD 2016 года выпуска и системы EPID (External Portal Imaging Device), разработанной для визуализации и оценки дозиметрии в процессе облучения.

В качестве модели пациента использовался фантом электронной плотности (QRM-10141) с диаметром 160 мм, дополненный двумя болюсами толщиной 4 и 10 мм для имитации изменений в объеме шеи пациента (рис. 1). Было изучено четыре различных плана бустовой терапии для пациентов с опухолями головы и шеи. Для каждого плана было проведено 18 измерений. В ходе экспериментов проводилась последовательная имитация ошибок позиционирования в направлениях  $x$ ,  $y$  и  $z$  с амплитудой смещения от 1 до 5 мм и двумя болюсами, которые создавали дополнительные 14 мм объема (первые 15 измерений). Кроме того, были проведены эксперименты с изменением объема шеи путем удаления болюсов, чтобы смоделировать потерю веса пациента. Первая серия измерений проводилась с полным объемом фантома (фантом +14 мм болюсов), затем проводилось два дополнительных облучения на месте идеального позиционирования для пациента — после удаления болюса толщиной 4 мм, а также после удаления дополнительного болюса толщиной 10 мм. Полная потеря объема составляла 14 мм (рис. 2).

Для анализа распределения дозы использовалась система PerFraction от SunNuclear, которая позволяет сравнивать 2D-дозиметрические карты, полученные в ходе

исследования, с расчетными данными. Были применены три критерия оценки локальных различий дозы (1%, 2% и 3%), а также девять различных гамма-критериев (от 1%/1 мм до 3%/3 мм), чтобы оценить чувствительность системы к ошибкам позиционирования и изменениям в объеме фантома.

Анализ графиков на рис. 3. показывает, что критерий Local-Dose-Difference особенно чувствителен к изменениям в положении. Видно, что для критерия 1% средние значения прохождения весьма низкие (в 11 из 17 случаев уровень прохождения ниже 70%). Однако с увеличением дозовой разницы (DD) средние значения уровня прохождения увеличиваются. Для 2% только в 2 из 17 случаев уровень прохождения составляет менее 70%, а при 3% — только в одном случае из 17.

Общее количество облучений, достигающих почти 100%, также увеличивается с увеличением пространственной разницы (DTA) по гамма-критериям. Для 1%/1 мм в 13 из 17 случаев уровень прохождения превышает 90%. Для 2%/1 мм — в 15 случаях, и для 3%/1 мм — в 16 из 17 случаев.

Если рассматривать критерий 1%/2 мм, то количество случаев, в которых уровень прохождения превышает 90%, уже составляет 16 из 17. То же самое касается и критериев 2%/2 мм и 3%/2 мм. Если рассмотреть внимательно, количество случаев, где уровень прохождения при 3%/2 мм превышает 98%, составляет 13 из 17. С уменьшением дозовой разницы также уменьшается уровень прохождения: при 2%/2 мм это 10 случаев, а при 1%/2 мм — 7 из 17.

Например, при 3 мм во всех значениях дозовой разницы почти везде наблюдаются значения выше 98% (для 1%/3 мм — в 11 случаях из 17, для 2%/3 мм — в 12 случаях, для 3%/3 мм — в 15 случаях из 17).

Также важно учитывать максимальные и минимальные значения уровня прохождения. Общая тенденция схожа со средними значениями. Значения, достигающие 90% и более, встречаются тем чаще, чем больше пространственная и дозовая разница. Например, для гамма-критерия с DTA 3 мм эти значения превышают 90%, даже если смещение положения составляет от 1 мм до 5 мм. Для критериев 1%/3 мм, 2%/3 мм и 3%/3 мм в 16 из 17 случаев максимальный уровень прохождения достигает 100%. При минимальных значениях более 90% — 16 из 17 случаев для 3%/3 мм. Это означает, что введенные ошибки не обнаруживаются по этому критерию.

Результаты по изменению позиционирования: Наблюдается, что изменения в z-направлении (изменение по высоте) в данной работе лучше распознаются, чем в других направлениях. Ожидалось, что уровень прохождения будет снижаться с увеличением смещения положения, но это, например, не подтверждается для x-направления (латеральное направление). Например, для критерия 2% Local-Dose-Difference смещение в x-направлении на 1 мм соответствует уровню прохождения 62%, а на 5 мм — 75,7%.

Результаты для смещений в y-направлении (краниально-каудальное) варьируются не так сильно, как в x-направлении. При том же критерии 2% Local-Dose-Difference уровень прохождения в y-направлении колеблется между 92,2% и 85,8%. Например, уровень прохождения при смещении на 2 мм составляет 85,8%, а при смещении на 3 мм снова приближается к 90%.

В этом исследовании изменения дозы лучше всего определяются при смещении стола в z-направлении. Чем больше смещение в z-направлении (стол поднимается ближе к источнику пучка), тем ниже уровень прохождения по критериям Local-Dose-Difference и N%/1 мм. Например, при смещении на 1 мм уровень прохождения составляет 89%, при 2 мм — 89,1%, при 3 мм — 81,6%, при 4 мм — 78,4%, а при 5 мм — уже 68,7%.

Если рассматривать изменения при удалении болюсов (рис.4), видно, что удаление болюса толщиной 4 мм приводит к ухудшению уровня прохождения критерия по сравнению с нулевым измерением (на графике «без 1B»). Особенно это заметно по критериям 1% Local-Dose-Difference (13,8%) и 2% (61,4%). С увеличением пространственной разницы для

гамма-критериев также увеличивается уровень прохождения для 4 мм болюса. Например, при 1%/1 мм среднее значение уровня прохождения составляет 85,7%, при 2%/1 мм — уже 95,4%, а при 3%/1 мм — 96,9%. В других гамма-критериях также наблюдаются близкие к 100% значения уровня прохождения.

Это означает, что изменение диаметра фантома не более чем на 4 мм не обнаруживается при применении гамма-критериев N%/2 мм и N%/3 мм.

Когда дополнительно удаляется болюс толщиной 10 мм (в сумме 14 мм), ситуация кардинально меняется (на графике «без 2В»). Здесь моделируется облучение фантома, представляющего пациента с потерей 14 мм объема шеи. Для критериев Local-Dose-Difference уровень прохождения варьируется между 0,6% и 1,1%.

Для гамма-критериев также видно, что даже максимальные значения не достигают уровня прохождения 70%. С увеличением пространственной дозовой разницы по гамма-критериям также увеличивается процент прохождения, но даже при самом мягком значении 3%/3 мм уровень не превышает 68,2% для максимального значения.

Таким образом, лучше всего обнаруживаются изменения при смещении в z-направлении и при удалении болюсов. Смещения лучше всего выявляются по критериям Local-Dose-Difference и N%/1 мм. При удалении болюса толщиной 4 мм происходит снижение уровня прохождения по этим критериям. Удаление болюса толщиной 14 мм является более чувствительным, и по всем критериям наблюдается значительное снижение уровня прохождения, в большинстве случаев планы не проходят проверку по выбранным критериям.

### Источники и литература

1. P. Mayles, Handbook of Radiotherapy Physics. Theorie and Practice. Taylor and Fracis Group, 2007.
2. L. E. Antonuk, J. Yorkston, W. Huang, J. H. Siewerdsen, J. M. Boudry, Y. El-Mohri, and M.
3. V. Marx, “A real-time, flat-panel, amorphous silicon, digital x-ray imager.” Radiographics, Jul. 1995.
4. P. Doolan, M. Nikolaou, K. Ferentinos, and G. Anagnostopoulos, “Assessment of a commercial EPID dosimetry system to detect radiotherapy treatment errors,” Biomed. Phys. Eng. Express, vol. 7, no. 4, p. 047001, Jun. 2021.
5. B. Mijnheer, A. Jomehzadeh, P. Gonza’lez, I. Olaciregui-Ruiz, R. Rozendaal, P. Shokrani,
6. H. Spreeuw, R. Tielenburg, and A. Mans, “Error detection during VMAT delivery using EPID-based 3D transit dosimetry,” Physica Med., vol. 54, pp. 137–145, Oct. 2018.
7. T. Fuangrod, P. B. Greer, H. C. Woodruff, J. Simpson, S. Bhatia, B. Zwan, T. A. VanBeek,
8. B. M. C. McCurdy, and R. H. Middleton, “Investigation of a real-time EPID-based patient dose monitoring safety system using site-specific control limits,” Radiat. Oncol., vol. 11, no. 1, pp. 1–10, Dec. 2016.
9. N. Matsushita, M. Nakamura, M. Sasaki, S. Yano, M. Yoshimura, and T. Mizowaki, “Analyses of integrated EPID images for on-treatment quality assurance to account for interfractional variations in volumetric modulated arc therapy,” J. Appl. Clin. Med. Phys., vol. 21, no. 1, pp. 110–116, Jan. 2020.

### Иллюстрации

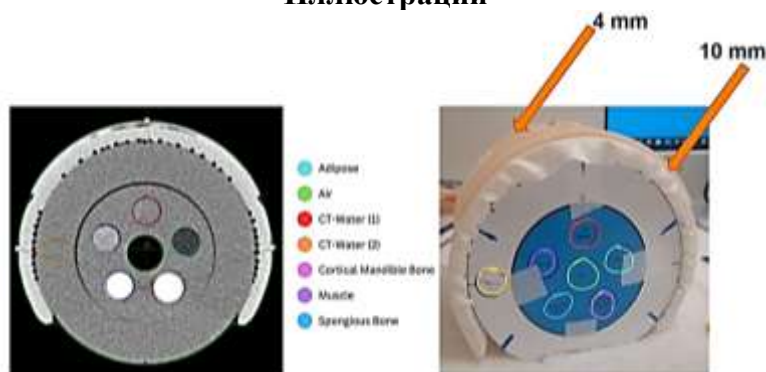


Рис. 4.2: Рис. 1. Фантом электронной плотности (ФЭП) QRM-10141 с промежуточным кольцом CT-water, 160 мм с двумя болюсами. Вид в Eclipse и в реальности





Рис. 4.3: Рис. 2. Фантом, находящийся в процедурном кабинете, и координаты движения стола

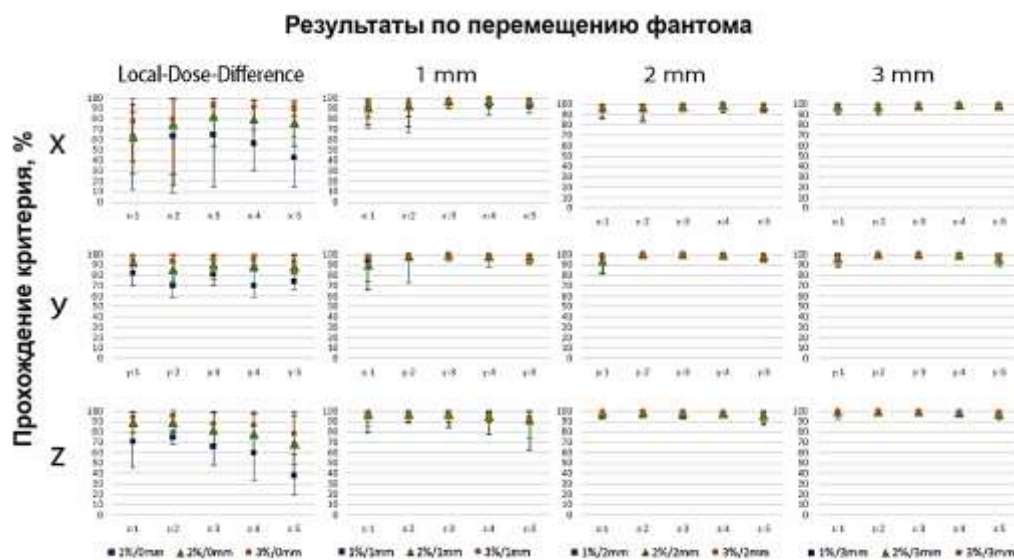


Рис. 4.4: Рис. 3. Результаты по перемещению фантома от 1мм до 5мм с различными критериями оценки

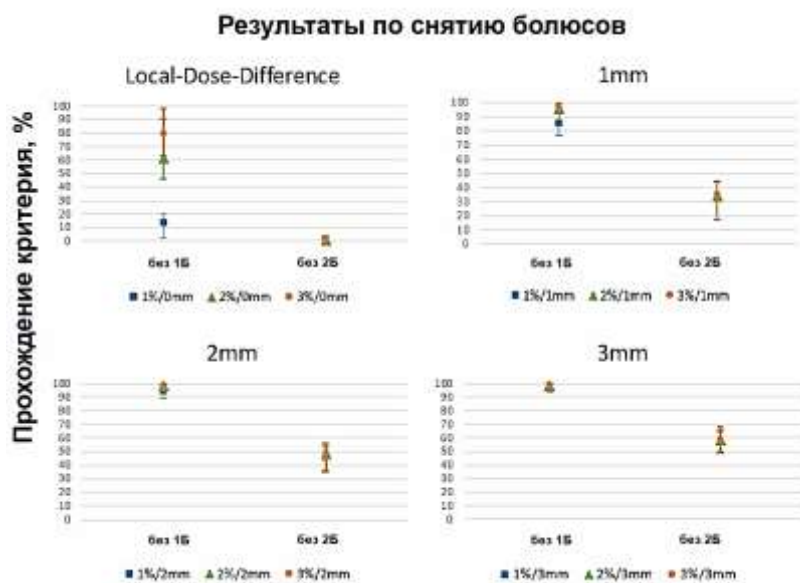


Рис. 4.5: Рис. 4. Результаты по снятию болюсов с различными критериями оценки

**ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЖИТЕЛЕЙ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
В 2012–2022 гг.**

**Симонова Виктория Геннадьевна**

*Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова,  
Медико-профилактический факультет, Рязанская область, Россия*

E-mail: segeja36@mail.ru

УДК 613.6

**ВВЕДЕНИЕ:** В мире, а также в России в частности, отмечается рост заболеваемости злокачественными новообразованиями головного мозга. Особенно рост значительно прослеживается у людей старше 65 лет. Рост заболеваемости врачи связывают с применением современных высокоточных методов диагностики, в частности с широким использованием магнитно-резонансной томографии.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Ретроспективные исследования на основе архивных документов, математическая обработка результатов и эпидемиологических наблюдений. Впервые были собраны, систематизированы, изучены и проанализированы обобщенные официальные данные ежегодной медицинской статистикой в динамике с 2012 по 2022 годы  
**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Анализ посмертно учтенных больных с опухолями ЦНС показал, что с 2015г. прослеживается значительный рост удельного веса посмертно учтенных больных со злокачественными опухолями ЦНС, с пиковыми значениями в 2019 г. и 2022 г.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** За последние 10 лет (с 2012 г. по 2022 г.) опухоли головного мозга регистрируются от 4,5 до 10,52 случаев в год на 100 000 населения. Развитие рака головного мозга также сопровождается значительным снижением качества жизни: больные отмечают у себя головные боли с нарушением сознания; нарушение движений в руках и ногах противоположных пораженным полушариям; снижение когнитивно-мнестических показателей; сужение зрительных полей и эпилептиформные припадки [5, 6].

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** На протяжении последних десяти лет отмечается значительный рост заболеваемости злокачественными опухолями головного мозга. Особенно выражен рост у людей в возрасте 54–64 года. Чаще злокачественными опухолями головного мозга болеют пожилые мужчины.

Прирост за 10-летний период составил 17,6%, что в значительной мере определено неблагоприятным направлением демографических процессов в популяции Орловской области, обусловившим «постарение» населения области, среди населения которого велик удельный вес старших возрастных

Анализ посмертно учтенных больных с опухолями ЦНС показал, что с 2015 г. прослеживается значительный рост удельного веса посмертно учтенных больных со злокачественными опухолями ЦНС, с пиковыми значениями в 2019 г. и 2022 г. Вполне вероятно, что метастатические опухоли головного мозга могут быть расценены патологоанатомами как первичные и быть закодированы в непосредственной причине смерти.

Максимальный подъем заболеваемости приходится на возраст 54–64 года.

В заключение следует отметить, что на протяжении последних десяти лет отмечается значительный рост заболеваемости злокачественными опухолями головного мозга. Особенно выражен рост у людей в возрасте 54–64 года [4]. Чаще злокачественными опухолями головного мозга болеют пожилые мужчины, нежели женщины.

## ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ВТОРИЧНЫХ РАКОВ ПАЦИЕНТОВ, ПРОШЕДШИХ ЛУЧЕВУЮ ТЕРАПИЮ

**Храмов Иван Владимирович**

Студент (специалист)

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины, Москва, Россия*

E-mail: ivanvania16@gmail.com

Лучевая терапия — это действенный и неинвазивный метод борьбы с онкологическими заболеваниями, который требуется примерно половине пациентов с раком [1]. Различные виды онкологии требуют разнообразных подходов к лечению, как отдельных, так и комбинированных, в зависимости от особенностей опухоли и индивидуальных характеристик пациента. Несмотря на преимущества, лучевая терапия имеет и свои недостатки. Часть дозы, направленной на опухоль, может повредить здоровые ткани, что повышает риск развития вторичных онкологических заболеваний, способных значительно повлиять на дальнейшее здоровье человека.

С увеличением продолжительности жизни выживших пациентов и развитием технологий лечения рака, увеличивается и частота возникновения вторичных опухолей. Вторичные опухоли — это рак, который развивается после завершения первичной терапии, спустя как минимум два месяца. В 1975–1979 годах вторичные опухоли составляли около 9% всех онкологических заболеваний, а к 2005–2009 годам эта доля выросла до 19% и продолжает расти [2]. Вторичные опухоли — основная причина смертности, связанной с последствиями лечения. Известно, что лучевая терапия повышает риск вторичных опухолей в 1,5–3 раза у взрослых и в 6–10 раз у детей [3–5]. В среднем, в течение 30 лет после лучевой терапии, вторичные опухоли развиваются у 17–18% пациентов [2]. В совокупности эти факторы требуют тщательного изучения причин возникновения вторичных опухолей, анализа статистики их появления и разработки математических моделей для оценки рисков, что позволит выбирать наиболее безопасные и эффективные методы лечения.

В процессе исследования были проанализированы причины появления вторичных опухолей, методы оценки риска, а также статистические данные в зависимости от пола, возраста, метода терапии и типа опухоли. Основные выводы обзора включают повышенный риск для женщин и детей при облучении по сравнению с общей популяцией и линейную зависимость риска от полученной дозы при воздействии малыми дозами.

### Источники и литература

1. Abdel-Wahab M. et al. Global Radiotherapy: Current Status and Future Directions — White Paper // JCO Global Oncology. American Society of Clinical Oncology (ASCO), 2021. № 7. P. 827–842.
2. Morton L.M. et al. The Rising Incidence of Second Cancers: Patterns of Occurrence and Identification of Risk Factors for Children and Adults // American Society of Clinical Oncology Educational Book. American Society of Clinical Oncology (ASCO), 2014. № 34. P. e57–e67.
3. Supramaniam R. New malignancies among cancer survivors: SEER cancer registries, 1973–2000 // Journal of Epidemiology & Community Health. BMJ, 2008. Vol. 62, № 4. P. 375–376.
4. Eaton B.R. et al. Secondary Malignancy Risk Following Proton Radiation Therapy // Frontiers in Oncology. Frontiers Media SA, 2015. Vol. 5.
5. Taylor C. et al. Estimating the Risks of Breast Cancer Radiotherapy: Evidence From Modern Radiation Doses to the Lungs and Heart and From Previous Randomized Trials // Journal of Clinical Oncology. American Society of Clinical Oncology (ASCO), 2017. Vol. 35, № 15. P. 1641–1649.

# **Секция 5**

## **Отечественные разработки в медицинской физике**

11 декабря 2024. Зал-трансформер коворкинга 1 учебного корпуса МГУ

**Председатели секции:** зав. лабораторией РМФ ОЯФММП НИИЯФ МГУ Ф.Р. Студеникин;  
м.н.с. кафедры ФУиРМ физического факультета МГУ А.А. Щербаков

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

**Кублинская Юлия Александровна**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия*

*ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия*

E-mail: KublinskayaYA@zdrav.mos.ru

Регистрация и контроль эффективных доз облучения пациентов, получаемых при рентгенологических исследованиях, является важной задачей, поскольку данные исследования составляют большую часть процедур лучевой диагностики [1]. Расчет и последующая регистрация эффективных доз облучения пациентов осуществляется рентгенолаборантом при проведении исследования.

Согласно утвержденным в Российской Федерации методическим указаниям [2, 3] один из способов расчета эффективной дозы облучения пациентов основывается на измерении значения произведения дозы на площадь (ПДП). Измерение значения ПДП осуществляется с помощью клинического дозиметра с проходной камерой. В настоящее время существующие подобные устройства в основном не имеют прямой синхронизации с диагностическим аппаратом или с рабочим местом рентгенолаборанта. В результате чего рентгенолаборанту требуется осуществлять запись и обработку показаний с данного устройства при проведении исследования. К тому же управление данным устройством требует особого внимания для корректной регистрации данных.

Для перехода от значения ПДП к значению эффективной дозы облучения пациентов используется переходной коэффициент. Данный коэффициент включает в себя технические, геометрические и дозиметрические параметры рентгенологических исследований, а также возраст пациента. Значения коэффициентов для распространенных исследований представлены в табличном виде в методических указаниях [2, 3]. Следовательно, для того чтобы определить значение переходного коэффициента рентгенолаборанту необходимо учитывать большое количество параметров, что может привести к ошибкам. К тому же значения данных коэффициентов представлены для наиболее часто встречающихся на практике рентгенологических процедур. В связи с этим для оценки эффективной дозы облучения пациента при проведении исследования с параметрами отличными от указанных в методических указаниях может потребоваться более сложный расчет.

Таким образом, процесс расчета значений эффективных доз облучения пациентов требует больших временных затрат и особо внимания со стороны рентгенолаборанта.

Целью данного исследования являлась оптимизация расчета эффективных доз облучения пациентов, получаемых при рентгенологических процедурах, путем разработки программного обеспечения.

В рамках работы было разработано программное обеспечение — калькулятор для расчета эффективных доз облучения пациентов, позволяющее рентгенолаборанту осуществлять более точный и быстрый расчет на основе параметров исследования и значения произведения дозы на площадь, измеренного с помощью клинического дозиметра с проходной камерой.

Дальнейшим этапом исследования станет расширение перечня исследований для расчета эффективной дозы облучения пациента и ввод новых значений физико-технических параметров, которые не учтены в методических рекомендациях [2, 3].

### Источники и литература

1. А.В. Алехнович, Ю.В. Дружинина, З.А. Лантух и др. Ретроспективный анализ доз облучения пациентов при рентгенорадиологических исследованиях в многопрофильных медицинских организациях Московского региона // Госпитальная медицина: наука и практика. 2023, Т. 6, № 3, 50–58. [Электронный ресурс] URL: <http://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/retrospektivnyj-analiz-doz-oblucheniya-pacientov-pri-rentgenoradiologicheskikh-issledovaniyah-v-mnogoprofilnyh-medicinskih-organizatsiyah-moskovskogo-regiona> (дата обращения: 08.11.2024).
2. МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований»
3. МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований»

## ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ПАЦИЕНТОВ В ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

**Садовски Кристина Андреевна**

Студент (специалист)

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Институт медицинский, Факультет лечебного дела и педиатрии, Белгород, Россия*

E-mail: [mafin\\_a@mail.ru](mailto:mafin_a@mail.ru)

Современная медицина неразрывно связана с различными радиационными технологиями. Они включают в себя рентгенографию, компьютерную томографию (КТ), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) и лучевую терапию. Все они играют важную роль в современной медицине, особенно в диагностике и лечении онкологических заболеваний. Ввиду разнообразия данных методов диапазон их применения оказывается весьма широким, применимым к самым разным группам пациентов. Тем не менее, несмотря на эффективность радиационных методов диагностики и терапии, вопрос о долгосрочных последствиях радиационного воздействия на организм остается актуальным и требует внимательного изучения. Рассмотрим основные механизмы воздействия, долгосрочные риски и методы минимизации возможных осложнений.

Ионизирующее излучение оказывает повреждающее воздействие на молекулы ДНК, вызывая всевозможные мутации, нарушения деления клеток, вплоть до их гибели. Некоторые повреждения могут быть обратимы за счет репаративных процессов живого организма и механизмов репарации ДНК, однако, если восстановление оказывается невозможным, это приводит к клеточной гибели или мутациям. Подобные мутации могут быть причиной возникновения новообразований, в том числе и злокачественных, что делает радиационное воздействие значимым фактором риска в долгосрочной перспективе [4]. Излучение может действовать как напрямую на молекулы ДНК, так и опосредованно. Это объясняется тем, что молекулы воды подвергаются ионизации под воздействием радиационного излучения, образуя свободные радикалы. Эти же радикалы впоследствии становятся причиной последовательного повреждения клеточных структур цепью реакций радикального окисления [9].

Исследования показывают, что накопление радиационного воздействия может вызывать и различные долговременные последствия, от повышения онкологических рисков до нарушений работы сердечно-сосудистой и эндокринной систем. Основным долгосрочным риском заключается в увеличении вероятности развития злокачественных новообразований, особенно с учётом повреждающего действия на молекулы ДНК и клеточные структуры. Хотя лучевая терапия нередко применяется для уничтожения опухолевых клеток, здоровые ткани, попадающие под облучение, могут подвергаться повреждению, что повышает риск образования вторичных опухолей. Наиболее уязвимой группой являются пациенты молодого возраста, поскольку клетки их организмов более активно делятся и ввиду этого более чувствительны к мутагенным факторам [1].

Особый риск несёт прямое воздействие радиации на грудную клетку, что может происходить и при лучевой терапии, и при применении различных диагностических методов с использованием радиационных технологий. Воздействие радиации на грудную клетку при лечении рака молочной железы и лимфомы может привести к долгосрочным последствиям для сердечно-сосудистой системы, таким как атеросклероз и фиброз сосудов [3]. Этот эффект объясняется тем, что радиация вызывает хронические воспалительные процессы и повреждение эндотелия. При постоянном и длительном пагубном действии этот фактор приводит к сужению сосудов и различным патологиям сердечно-сосудистой системы. Облучение легких, особенно при лечении опухолей грудной клетки, может вызывать радиационный пневмонит и фиброз легких. Эти состояния характеризуются воспалением и склерозированием тканей, что существенно снижает дыхательную функцию у пациентов [6].

Отдельно стоит отметить, что такие органы эндокринной системы, как щитовидная железа, гипофиз и надпочечники являются органами с высокой чувствительностью к радиации. Исследования показывают, что радиационное воздействие увеличивает риск гипотиреоза, особенно у пациентов, получавших облучение области шеи [5]. Такие пациенты нуждаются в регулярном мониторинге эндокринной функции для своевременного выявления нарушений.

Чтобы изучить долгосрочные последствия радиационного воздействия на здоровье пациентов, в нескольких исследованиях изучались последствия радиационного воздействия в различных медицинских контекстах. Исследования были сосредоточены на больных раком, получающих лучевую терапию, выживших после детского рака и пациентах, перенесших сердечно-сосудистые процедуры, среди прочих [9]. Долгосрочные последствия радиационного воздействия могут включать рост заболеваемости раком, особенно через несколько десятилетий, и другие серьезные риски для здоровья [2]. Кроме того, точность оценки воздействия имеет решающее значение при оценке взаимосвязи между лечением рака и долгосрочными последствиями для здоровья. В определенных ситуациях у пациентов может развиться острая лучевая болезнь, что подчеркивает важность интенсивного лечения для долгосрочного выживания [7]. Кроме того, исследования показали, что интраоперационные процедуры, такие как компьютерная томография, могут значительно увеличить радиационное воздействие на пациентов

Риск осложнений зависит от множества факторов, таких как возраст пациента, доза облучения, зона воздействия и генетическая предрасположенность. Исследования показывают, что дети и молодые люди особенно чувствительны к радиации и подвержены более высоким рискам долговременных последствий [8]. Для снижения рисков разработаны стратегии минимизации радиационного воздействия. Для диагностических процедур рекомендуется использовать минимально возможные дозы радиации. Это позволяет снижать риски, не ухудшая качество диагностики. Применение индивидуализированных схем лечения, в которых учитываются возраст, тип заболевания и чувствительность пациента к радиации, позволяет минимизировать облучение здоровых тканей и снизить вероятность осложнений.

Технологии, такие как протонная терапия, позволяют точнее направлять радиацию на опухоль, что существенно снижает облучение окружающих тканей и минимизирует риск побочных эффектов [11].

Радиационные технологии играют важную роль в диагностике и лечении заболеваний, однако их применение связано с определенными долгосрочными рисками для здоровья. Основные усилия медицинского сообщества направлены на снижение доз облучения и применение персонализированных методик для минимизации негативных последствий.

В заключение отметим, что долгосрочные последствия радиационного облучения для здоровья пациентов представляют собой сложную проблему, требующую точной оценки воздействия, понимания рисков, связанных с различными медицинскими процедурами, и управления потенциальными побочными эффектами для обеспечения благополучия пациентов, подвергающихся облучению. Уход. Необходимы дальнейшие исследования для всесторонней оценки долгосрочных последствий радиационного воздействия на различные группы пациентов и разработки стратегий по смягчению любых неблагоприятных последствий для здоровья.

### Источники и литература

1. Brenner, D. J., & Hall, E. J. (2007). Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *New England Journal of Medicine*, 357(22), 2277–2284.
2. Carpeggiani C. et al. Long-term outcome and medical radiation exposure in patients hospitalized for cardiovascular disease // *International Journal of Cardiology*. — 2015. — Т. 195. — С. 30–36.
3. Darby, S. C., Ewertz, M., McGale, P., Bennet, A. M., Blom-Goldman, U., Bronnum, D., ... & Hall, P. (2013). Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer. *New England Journal of Medicine*, 368(11), 987–998.
4. Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2019). *Radiobiology for the Radiologist* (8th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
5. Hancock, S. L., Cox, R. S., & McDougall, I. R. (1991). Thyroid diseases after treatment of Hodgkin's disease. *New England Journal of Medicine*, 325(9), 599–605.
6. Hanania, A. N., Mainwaring, W., Ghebre, Y. T., Hanania, N. A., & Ludwig, M. (2019). Radiation-induced lung injury: Assessment and management. *Chest*, 156(1), 150–162.
7. Hayda R. A. et al. Radiation exposure and health risks for orthopaedic surgeons // *JAAOS- Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. — 2018. — Т. 26. — №. 8. — С. 268–277.
8. International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103.
9. Mettler, F. A., Bhargavan, M., Faulkner, K., Gilley, D. B., Gray, J. E., Ibbott, G. S., ... & Yoshizumi, T. T. (2018). Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: Frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources — 1950–2007. *Radiology*, 253(2), 520–531.
10. Thomas G. A., Symonds P. Radiation exposure and health effects—is it time to reassess the real consequences? // *Clinical Oncology*. — 2016. — Т. 28. — №. 4. — С. 231–236.
11. Verma, V., Mishra, M. V., & Mehta, M. P. (2016). A systematic review of the cost and cost-effectiveness studies of proton radiotherapy. *Cancer*, 122(10), 1483–1501.



## РАЗРАБОТКА КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ РАСЧЕТА РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ TCP/NTCP

**Сорокина Аида Арсеновна**

Аспирант

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Физико-технический институт, Томск, Россия*

E-mail: sorokina.ajda@ya.ru

Основной задачей лучевой терапии (ЛТ) является создание оптимального распределения поглощенной дозы ионизирующего излучения в опухолевой ткани при минимизации вероятности возникновения радиационных осложнений в здоровых тканях.

Качество дозиметрических планов лучевой терапии традиционно оценивается на основе физических критериев, таких как уровень покрытия планируемого объема опухоли (Planning target volume — PTV) назначенной дозой, а также соблюдение ограничений QUANTEC для органов риска. В то же время данная оценка дозиметрического плана не обеспечивает однозначных показателей для выбора лучших планов облучения. В то же время алгоритм работы систем дозиметрического планирования не полностью понятен, поэтому необходим независимый контроль и проверка качества полученных гистограмм доза-объема (ГДО). При этом важно учитывать не только физическое соответствие, но и предполагаемую биологическую эффективность. В глобальной практике лучевой терапии все большее внимание уделяется макроскопическим радиобиологическим критериям, таким как вероятность контроля опухоли (Tumor control probability — TCP) и вероятность осложнений в нормальных тканях (Normal tissue control probability — NTCP), что позволяет количественно оценивать результаты лечения и, опираясь на это, выбирать оптимальную схему облучения для пациента.

В соответствии с этим, целью работы стала разработка калькулятора для расчета радиобиологических критериев TCP/NTCP.

На данный момент, веб-приложение «Калькулятор TCP/NTCP» позволяет загружать гистограммы дозы-объем, импортированных из систем дозиметрического планирования. Для сравнительного анализа реализованы наиболее часто используемые модели: TCP — Niemierko, Warkentin-Stavrev; модели NTCP — Niemierko, Kallman, LymanKutcher-Burman (LKB), Kehwar-Sharma. Помимо этого, данный калькулятор учитывает неопределенности радиобиологических параметров.

Разработанный подход может служить в качестве эффективного вспомогательного инструмента при выборе оптимальной схемы дозиметрического планирования лучевой терапии и подведения дозы к злокачественным новообразованиям.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

**II МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ  
РАДМЕД-2025**

Декабрь 2025 года

**Сборник тезисов докладов**

Москва  
2025



## **Секция 1**

# **Медицинская физика в лучевой терапии**

9 декабря 2025. Лекторий коворкинга 1 учебного корпуса МГУ (Ленинские горы, 1, стр. 51)

**Председатели секции:** к.м.н. И.В. Дрошнева; д.б.н. И.М. Лебедеенко; к.ф.-м.н. Е.Н. Лыкова

# **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРОВЬ ПАЦИЕНТОВ С ДИАГНОЗОМ РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Гоголева Т.Е.<sup>1</sup>, Мамаева С.Н.<sup>1</sup>, Максимов Г.В.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Физико-технический институт, Северо-Восточный федеральный университет  
имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия.*

*<sup>2</sup>Биологический факультет, Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

E-mail: gogoltakuo98@mail.ru

Интраоперационная лучевая терапия (ИОЛТ) является одним из наиболее перспективных методов лечения рака молочной железы (РМЖ). ИОЛТ использует электроны высокой энергии, которые имеют ограниченную проникающую способность. Это позволяет направить основную дозу облучения в нужную область, минимизируя воздействие на здоровые ткани и органы, расположенные за местом расположения опухоли [1]. Известно, что в области локализации опухоли образуется большое количество микрососудов, что может обуславливать воздействие ионизирующего излучения (ИОИ) на большое количество эритроцитов [2]. Предполагается, что лучевая терапия (ЛТ) может обуславливать образование большого количества экзосом злокачественной опухолью, которое может быть связано со степенью эффективности ЛТ. В связи с этим необходимо определить, вызывает ли ЛТ выделение эндосом эритроцитами, чтобы исключить это явление при исследовании влияния ЛТ на образование экзосом [3].

Опухолевые клетки являются максимальными продуцентами экзосом, что отражает их ключевую роль в канцерогенезе [4]. Эффективность ИОЛТ подтверждена клиническими исследованиями, однако детальные биологические механизмы ее влияния на опухоль и клетки микроокружения остаются недостаточно изученными.

Объектами исследования являются образцы венозной крови пациентов Якутского республиканского онкологического диспансера с диагнозом РМЖ, которые облучены поэтапно электронным пучком малогабаритного бетатрона КМБ-8 (ТПУ, г. Томск) до суммарной дозы 150 Гр. После каждого этапа облучения подготовлены сухие мазки крови на предметных стеклах. Подготовленные мазки исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) для детального анализа морфологии эритроцитов.

Установлено, что при каждом этапе облучения количество изменённых форм эритроцитов и их процентное соотношение увеличиваются. При этом на поверхности эритроцитов выявлены наноразмерные структуры (НРС), размеры которых сравнимы с размерами вирусов и экзосом. Аналогичные структуры не появляются в плазме крови в ходе облучения. В ранней работе авторов [5] обсуждались гипотезы о том, что НРС, возникающие в плазме пациентов с диагнозом рак шейки матки при ЛТ, могут представлять собой либо эндосомы, выделенные эритроцитами, либо экзосомы опухолевых клеток, индуцированные ИОИ. Поскольку в данном исследовании НРС в плазме крови на всех этапах облучения образцов не обнаружены, это указывает на то, что при облучении экзосомы преимущественно выделяются опухолевыми клетками. Предполагается, что их концентрация зависит от размера опухоли, её радиорезистентности и объёма опухолевых остатков после хирургического удаления. Вероятно, что в нормальных условиях эритроциты практически не выделяют эндосом [3,6]. Таким образом, по количеству НРС, индуцированных ИОИ, можно судить об эффективности ИОЛТ и вероятности развития рецидива или метастазирования опухоли.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших комплексных исследований процесса образования на поверхности эритроцита как экзосом, так и эндосом,

при увеличении дозы облучения нормальных эритроцитов, так и при воздействии ряда факторов на эритроциты с помощью электронной и атомно-силовой микроскопии [3].

### Литература

1. Интраоперационная лучевая терапия: обоснование метода технические аспекты, результаты клинического применения / F.A. Calvo, R.M. Meirino, R. Orecchia. et al. // Онкохирургия. — 2010; — 2(3). — С. 73–84.
2. А.Н. Ремизов // М.: Высшая школа, 1999.
3. Морфология эритроцитов указывает на различие механизмов формирования внеклеточных везикул эритроцитарного происхождения / Е.Ю. Паршина, Л.С. Фролова, Г.В. Максимов // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. — 2025. — Т. 80. — №. 3. — С. 23–30.
4. Биологическое значение экзосом опухолевых клеток / М.В. Тихонова, Д.В. Литвинов, А.И. Карачунский, и др. // Онкопедиатрия. — 2017. — № 2. — С. 141–146.
5. Determination of Blood Parameters using Scanning Electron Microscope as a Prototype Model for Evaluating the Effectiveness of Radiation Therapy for Cervical Cancer / S.N. Mamaeva, I.V. Kononova, V.A. Alekseev et al. // International Journal of Biomedicine. — 2021. — V. 11(1). — P. 32–38.
6. Microvesicles in vascular homeostasis and diseases. Position Paper of the European Society of Cardiology (ESC) Working Group on Atherosclerosis and Vascular Biology/ V.C. Ridger, C.M. Boulanger, A. Angelillo-Scherrer, et al. // Thromb Haemost. —2017. —117(7). — P.1296–1316.

## ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛЕГКОГО

Копылова Е.А.<sup>1,2</sup>, Горлачев Г.Е.<sup>3</sup>, Лыкова Е.Н.<sup>1,2</sup>,  
Новикова Е.А.<sup>1</sup>, Назаренко А.В.<sup>2</sup>, Черняев А.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ

<sup>3</sup> Радиационно-Онкологические Интеллектуальные Системы и Сервисы

E-mail:ekaterinakalip@gmail.com

Стереотаксическая лучевая терапия является одним из наиболее эффективных подходов при лечении злокачественных новообразований в лёгком. Однако превышение толерантных доз в здоровых тканях может приводить к тяжёлым осложнениям [1]. Для точной оценки и ограничения дозовой нагрузки на дыхательные пути требуется их идентификация на изображениях компьютерной томографии (КТ). Ручное оконтуривание бронхов является крайне трудоёмким из-за их сложной трёхмерной конфигурации и анатомической вариабельности.

Трёхмерный анатомический атлас грудной клетки человека может служить автоматизированным инструментом для идентификации дыхательных путей. Анатомический атлас — это предварительно размеченные КТ-изображения [2]. Эти данные совмещаются с медицинскими изображениями пациента посредством деформируемой регистрации. Деформируемая регистрация — это сопоставления вокселей двух изображений с использованием нежестких преобразований изображения. Это позволяет учитывать непрерывные пространственные искажения биологических тканей.

Совмещение медицинских изображений реализуется через итеративный расчет геометрических преобразований для каждого вокселя изображения. Этот процесс может занять десятки минут, что неудобно в клиническом применении. Поэтому для подобных расчетов используют графические процессоры. Они способны выполнять программный код параллельно на большом числе одинаковых процессоров. Это позволяет достигать скоростей в пределах нескольких секунд для реализации алгоритмов регистрации.

Целью работы является создание математической модели лёгких для оценки дозовой нагрузки на дыхательные пути. За основу анатомического атласа была выбрана компьютерная томограмма здорового человека. Идентификация бронхов происходила с использованием «Фундаментальной модели анатомии». В качестве алгоритма деформируемой регистрации был выбран метод «Демоны» [3]. Для ускорения расчетов использовался графический процессор NVIDIA GeForce RTX 4060.

### Литература

1. Normal tissue complication probability modeling of pulmonary toxicity after stereotactic and hypofractionated radiation therapy for central lung tumors / Tekatli H., Duijm M., Hoop E.O., et al. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* — 2018. — Vol. 100, no. 3. — P. 738.
2. Multi-Atlas Segmentation of Biomedical Images: A Survey/ Iglesias J. E., Sabuncu M. R. // *Med. Image Anal.* — 2015. — Vol. 24, no. 1. — P. 205.
3. Image matching as a diffusion process: an analogy with Maxwell's 20 demons / Thirion J. P. // *Med. Image Anal.* — 1998. — Vol. 2, no. 3. — P. 243.

## МЕТОД БЫСТРОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Ларионов А.А.<sup>1</sup>, Ющенко О.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» — Институт физики высоких энергий им. А.А. Логанова, Россия, г. Протвино, пл. Науки, 1, 142281

E-mail: Andrei.Larionov@ihep.ru; Oleg.Yushchenko@ihep.ru

Лучевой терапии уже более 100 лет. Это — один из важнейших методов лечения онкологических заболеваний. За столетие была проделана громадная работа по совершенствованию методики лучевой терапии с использованием  $\gamma$  — квантов, электронов, протонов и ионов. Для протонных и ионных пучков важно то, что выделение энергии растет с глубиной, достигая Брегговского максимума, а затем резко уменьшается. Такое поведение позволяет локализовывать энерговыделение, оказывая максимальное воздействие именно на патологический очаг.

Использование углеродного пучка накладывает свои особенности на систему планирования. Связано это, в основном, с физическими процессами, присущими именно ионам — значительный вклад фрагментации пучка и вторичных фрагментов. Это приводит к образованию множества вторичных частиц, которые, распространяясь в пациенте, также как и первичный пучок, производят значительную ионизацию. Разрабатываемая в ИФВЭ система планирования ионной лучевой терапии должна обеспечивать быстрое вычисление дозовых полей. Весь терапевтический эффект лучевой терапии основан именно на ионизации. По этой причине точный и быстрый расчет ионизационных потерь для различных типов ионов в сложных негомогенных средах есть необходимая основа успешного построения системы планирования.

В докладе представлен практический метод быстрого вычисления ионизационных потерь, который реализован в разрабатываемой системе планирования.

### Литература

1. W. Schneider et al, «Correlation between CT numbers and tissue parameters needed for Monte Carlo simulations of clinical dose distributions», *Phys. Med. Biol.* 45, 459 (2000).
2. B.A. Weaver, A.J. Westphal, «Energy loss of relativistic heavy ions in matter», *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 187 (2002) 285–301.
3. НИЦ «Курчатовский институт»-ИФВЭ и «НМИРЦ» Минздрава России, «Центр ионной лучевой терапии на базе ускорительного комплекса У-70», Протвино, 2017.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ФАКТИЧЕСКОЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ВО ВРЕМЯ КУРСА РАДИОТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОНУСНО-ЛУЧЕВОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

*Лисовская А.О.<sup>1,2</sup>, Строженков М.М.<sup>2</sup>, Нечеснюк А.В.<sup>2</sup>, Логинова А.А.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> *Физический факультет МГУ, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России*

<sup>3</sup> *Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия*

E-mail: nastya\_lis95@mail.ru

По данным центра НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева примерно 40% пациентов детского возраста со злокачественными новообразованиями показано проведение радиотерапии. Зачастую курс лечения для таких пациентов может длиться больше месяца. За это время может измениться объем тела на уровне мишени, что приведет к изменению запланированного распределения поглощенной дозы и, как следствие, снижению вероятности контроля опухоли и повышению фактически поглощенной дозы в здоровых органах и тканях [1].

Для контроля качества проведения процедур лучевой терапии были разработаны два варианта методик расчета поглощенной дозы с применением изображений конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), рутинно получаемых в процессе лучевой терапии. Вариант 1 — с использованием деформируемой регистрации. Вариант 2 — с преобразованием чисел Хаунсфилда (HU) в значения относительной электронной плотности. Для реализации первой методики были созданы несколько моделей гетерогенного фантома с различным количеством дополнительного тканезквивалентного материала (болюсов), имитирующих изменение объема тела пациента в течение курса лучевой терапии. Этот фантом с различным количеством болюсов был отсканирован на компьютерном томографе (КТ) GE Discovery RT и встроенном модуле КЛКТ линейного ускорителя Elekta Synergy. Были созданы синтетические КТ-изображения путем деформирования изображений КТ фантома без болюсов под новую геометрию исследуемых изображений КЛКТ с болюсами. Затем рассчитывались дозовые распределения с использованием синтетических КТ-изображений фантома различных размеров и соответствующих им рефересных КТ-изображений фантома. Для второй методики использовались два гетерогенных фантома различных размеров, которые так же были отсканированы на КТ и КЛКТ. С помощью фантома CIRS 062-M были выполнены преобразования чисел Хаунсфилда в значения относительной электронной плотности, соответствующие используемым режимам сканирования КЛКТ, для учета эффектов рассеяния излучения. Рассчитывались дозовые распределения с использованием КЛКТ-изображений, учитывающих значения относительной электронной плотности, для обоих фантомов и соответствующих рефересных КТ-изображений.



Всего мы рассчитали порядка 300 дозовых распределений с использованием метода Монте-Карло в программном обеспечении MIM Surecalc (MIM Software Inc. (Cleveland, OH, USA) на основе реальных лечебных планов пациентов, выполненных по технологии VMAT (радиотерапия с динамической модуляцией интенсивности по объему мишени) для области живота и таза. С помощью гамма-индексов было проведено сравнение исследуемых дозовых распределений, полученных с использованием изображений КЛКТ двумя описанными выше методиками, и референсных дозовых распределений, полученных с использованием КТ-изображений (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты сравнения исследуемых дозовых распределений  
с референсными дозовыми распределениями для двух методик**

	Без изменения размера объекта		С изменением размера объекта	
	Метод деф. рег.	Метод HU	Метод деф. рег.	Метод HU
N, кол-во дозовых распределений	44	44	132	66
Средний процент точек, удовлетворяющих $\gamma$ 3%, 1мм, %	99,9 $\pm$ 0,2 [99,3;100]	100,0 $\pm$ 0,5 [98,2;100]	99,2 $\pm$ 0,7 [97,2;100]	N/A
Средний процент точек, удовлетворяющих $\gamma$ 3%, 2мм, %	N/A	N/A	N/A	98,5 $\pm$ 2,7 [90,2;100]

Согласно общепринятым в лучевой терапии критериям полученные результаты свидетельствует о высокой точности оценки изменения дозовых распределений для обоих предложенных методик расчета фактической поглощенной дозы, как при постоянном объеме, так при изменении объема сканируемого объекта.

### Литература

1. Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and-neck cancer using an integrated CT/linear accelerator system / Barker Jr JL, Garden AS, Ang KK, et al. // Int J Radiat Oncol Biol Phys. — 2004. — Vol. 59, no. 4. P. 960–970.

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАНОВ ТАРГЕТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ТЕЛА И КОСТНОГО МОЗГА К ВАРИАЦИЯМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТА

**Логинова А.А.<sup>1,2</sup>, Жаркова А.О.<sup>1</sup>, Курмышева Ю.М.<sup>1</sup>, Нечеснюк А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына,  
Москва, Россия

E-mail: anna.loginova@dgoi.ru

**Введение.** Спиральная томотерапия является формой лучевой терапии с модулированной интенсивностью, которая применяется при различных вариантах тотального облучения тела, а также таргетного облучения костного мозга и лимфатической системы (ТОКЛ) [1]. Поскольку методика ТОКЛ направлена на таргетное облучение всего тела с селективным снижением дозы в органах риска, точное позиционирование пациента в клинической практике бывает затруднено.

Целью данного исследования является оценка устойчивости планов ТОКЛ при смещениях пациента в трех взаимно противоположных пространственных ортогональных

направлениях. В исследовании проводится ретроспективный анализ на основе фактически рассчитанных распределений дозы планов ТОКЛ, используются данные об погрешностях укладки, полученных при облучении предыдущих пациентов.

**Материалы и методы.** Ретроспективный анализ данных 737 упаковок пациентов показал, что значения смещений, получаемых при ежедневном сканировании мегавольтной компьютерной томографии, хорошо описываются функцией Гаусса. При этом значения стандартного отклонения смещений в латеральном, вертикальном и продольном направлениях соответственно составляют  $\sigma_{\text{lat}}=1,52\pm0,05$  мм,  $\sigma_{\text{long}}=2,10\pm0,09$  мм и  $\sigma_{\text{vert}}=0,97\pm0,03$  мм.

Для оценки устойчивости планов было выбрано 8 оригинальных планов лучевой терапии, выполненных в TomoTherapy 4.5 (Accuray Inc., США) по технологии ТОКЛ в период с июля 2023 по февраль 2024 года. Чтобы прояснить влияние погрешности укладки в трех пространственных ортогональных направлениях на распределение дозы, запланированные КТ-изображения пациентов смещались на значения  $\pm 3\sigma$  в вертикальном, латеральном и продольном направлениях, относительно запланированного первоначального положения пациента. Влияние этих смещений на распределение дозы было смоделировано путем расчета оригинальных Dicom-RT планов, рассчитанных в новой геометрии, учитывающей вышеуказанные смещения с использованием модуля независимого расчета дозы MIM Surecalc, алгоритм Monte-Carlo (заданная статистическая неопределенность 1%, размер вокселя расчета  $2.5*2.5*5$  мм). Результаты оценивались путем сравнения данных гистограмм доза объем при неизменной геометрии и при наличии смещений для клинических объемов мишени (CTV, Clinical Target Volume), получающих 12 Гр (CTV\_1200) и 15 Гр (CTV\_1500), а также для наиболее клинически значимых органов риска: легких, почек, печени, кишечника.

Всего было получено 56 распределений дозы — 8 первичных планов облучения моделировались в MIM Surecalc сначала в неизменной геометрии (без смещений) и затем по следующим взаимно ортогональным сценариям смещений:  $(-3\sigma_{\text{lat}}; 0; 0)$ ,  $(0; 0; +3\sigma_{\text{lat}})$ ,  $(0; +3\sigma_{\text{long}}; 0)$ ,  $(0; -3\sigma_{\text{long}}; 0)$ ,  $(0; 0; +3\sigma_{\text{vert}})$ ,  $(0; 0; -3\sigma_{\text{vert}})$ . Исходя из предположения равновероятности случайных смещений пациента в каждом из вышеуказанных ортогональных направлений, а также неизменном стандартном количестве фракций для ТОКЛ равном 6, было выполнено суммирование и нормировка полученных 6-ти распределений дозы в единое комбинированное распределение дозы, которое и было использовано для сравнения с планом в отсутствие смещения.

**Результаты.** Результаты моделирования показали, что 40% объема лёгких, получило не более  $7,7\pm0,3$  Гр при комбинации смещений и  $7,3\pm0,3$  Гр в их отсутствии, что не превышает допустимого клинически установленного значения 8 Гр. Анализ показал, что планы ТОКЛ достаточно устойчивы при рассмотренной комбинации смещений, чтобы сохранить покрытие 95% объема CTV\_1200 в пределах  $12,3\pm0,2$  Гр, что является клинически хорошим результатом. Среднее значение дозы для CTV\_1500 осталось практически неизменным при комбинации смещений и составило  $14,0\pm0,5$  Гр, а при их отсутствии  $14,1\pm0,5$  Гр. При этом анализ не показал статистически значимое увеличение значения максимальной и средней дозы ни в одном из рассматриваемых органов риска.

**Заключение.** Планы ТОКЛ при смещениях пациента в трех взаимно противоположных пространственных ортогональных направлениях, являются устойчивыми с точки зрения облучения как органов риска, так и мишеней, что говорит о корректном выборе отступа от CTV к PTV (Planning Target Volume). Стоит отметить, что выполненное моделирование предполагало отсутствие систематических ошибок укладки пациента от фракции к фракции, а смещение в противоположных ортогональных направлениях частично компенсировало возможные возникающие неблагоприятные клинические сценарии. В реальной ситуации возможны систематические ошибки в укладке пациента, которые могут привести к тому, что распределение дозы подвергнется клинически неприемлемым изменениям.

ТОКЛ требует тщательного подхода к укладке и позиционированию пациента, а также обязательному выполнению процедур предварительной визуализации пациента и, в случае необходимости, коррекции его укладки перед началом терапии.

### Литература

1. Логинова А.А., Лисовская А.О., Канестри Ф.Я., Воеводина Ю.М., Нечеснюк А.В. Сравнение планов тотального облучения тела и таргетного облучения костного мозга и лимфоидной системы у детей с онкогематологическими заболеваниями. Медицинская физика, 2025, том 106, № 2, с. 72–78 <https://doi.org/10.52775/1810-200X-2025-106-2-72-78>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ БРАХИТЕРАПИИ

Новикова Е.А.<sup>1</sup>, Горлачев Г.Е.<sup>2</sup>, Копылова Е.А.<sup>1</sup>, Лыкова Е.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> Радиационно-Онкологические Интеллектуальные Системы и Сервисы, Москва, Россия

E-mail: [evgeniyanovikovazar@gmail.com](mailto:evgeniyanovikovazar@gmail.com)

Электронная брахитерапия с использованием миниатюрных рентгеновских трубок, таких как Xoft Axxent (50 кВ), является перспективной альтернативой радионуклидной брахитерапии [1]. Их ключевое преимущество — отсутствие радиоактивных материалов, что упрощает логистику и соблюдение мер радиационной безопасности. Однако стандартный протокол дозиметрического расчета AAPM TG-43 [2], разработанный для изотопных источников, неприменим для электронных источников из-за особенностей спектра и геометрии. Для преодоления этих ограничений производитель использует модифицированный формализм TG-43 [3], требующий отдельного набора параметров для каждого типа аппликатора и положения источника в нем, что усложняет процесс планирования. Метод Монте-Карло (МК) рассматривается как «золотой стандарт» для моделирования дозовых распределений в условиях гетерогенных сред и позволяет создать универсальную модель источника.

Таким образом, целью данной работы является разработка и верификация модели миниатюрного рентгеновского источника Xoft Axxent для последующего расчета дозовых распределений методом Монте-Карло.

Моделирование выполнялось с использованием программного кода MC, основанного на физике пакета EGS4. Геометрия источника была восстановлена на основе анализа доступных в литературе данных. Модель включала следующие ключевые компоненты: анод из сплава вольфрама (55%) и иттрия (45%) толщиной 0,8 мкм, бериллиевый буфер (0,5 мм), слой охлаждающей жидкости и пластиковую защитную оболочку. Катод задавался как точечный изотропный источник электронов с энергией 50 кэВ. Пороги кинетической энергии для транспорта частиц составляли 10 кэВ для электронов и 1 кэВ для фотонов.

Верификация модели проводилась в два этапа:

1. Расчет спектра тормозного излучения в воздухе и его сравнение с данными литературы.

2. Расчет радиальной функции дозы  $g(r)$  и функции анизотропии  $F(r, \theta)$  в сферическом водном фантоме. Расчеты проводились для конфигураций источника совместно с титановым гинекологическим аппликатором и без него, с последующим сравнением с табличными данными.

Рассчитанный энергетический спектр показал хорошее согласие с литературными данными. Средняя энергия спектра составила 26,72 кэВ, что согласуется со значением,

заявленным производителем (26,60 кэВ) в пределах 0,46%. Спектр демонстрирует характерные пики L-линий вольфрама (8-12 кэВ) и K-линий иттрия (14-17 кэВ), что подтверждает корректность выбранного состава анода.

Результаты расчета дозиметрических параметров для источника в титановом аппликаторе показали хорошее согласие с референсными данными: максимальное отклонение радиальной функции не превысило 3%. Однако для конфигурации источника без аппликатора наблюдались значительные расхождения в радиальной функции (до 38,4% на расстоянии 12 см) и функции анизотропии.

Выявленные расхождения, особенно в конфигурации без аппликатора, указывают на ограничения физических моделей кода MC, наследуемых от EGS4. Вероятной причиной является недостаточная точность описания процессов взаимодействия низкоэнергетических фотонов в рамках данной физической модели.

В ходе работы была разработана и верифицирована комплексная модель миниатюрного рентгеновского источника Xoft Axxent. Модель корректно воспроизводит спектральные характеристики источника, что подтверждает адекватность учета его геометрии и состава материалов. Несмотря на выявленные систематические отклонения дозиметрических параметров в некоторых конфигурациях, работа закладывает основу для создания универсального инструмента планирования. Для повышения точности необходимы дальнейшие исследования, включающие уточнение геометрии источника и совершенствование физических моделей, применяемых в коде MC для киловольтного диапазона.

### Литература

1. Axxent® Controller Software Versions 1.30 and 1.40 Release Notes, 750072 Rev. E (2017).
2. Mark J. Rivard, Report No. 084 — Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose, Medical Physics, 31, 633–674, <https://doi.org/10.1118/1.1646040> (2004).
3. Larry A. De Werd et al., A modified dose calculation formalism for electronic brachytherapy sources, Brachytherapy, <https://doi.org/10.1016/j.brachy.2015.01.003> (2015).

### ГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА ФИЗИЧЕСКОГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ: ФУНКЦИОНАЛ, ИДЕОЛОГИЯ, ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

Парменова Е.В.<sup>1</sup>, Ющенко О.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт физики высоких энергий имени А.А. Логонова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,  
площадь Науки, 1, Протвино, Московская обл., 142281 Россия*

E-mail: Ekaterina.Parmenova@ihep.ru

Ключевые слова: ионная лучевая терапия, система планирования, графическая оболочка, Qt.

Установлено, что терапия ионами углерода более эффективна при лечении радиорезистентных опухолей по сравнению с более распространенной фотонной или протонной терапией [1]. Первый в России центр ионной лучевой терапии, направленный на реализацию соответствующего медицинского облучения, строится на базе действующего Ускорительного комплекса У-70 НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ в г. Протвино [2]. Одним из трёх ключевых компонентов системы планирования, разрабатываемой для этого центра, является Физический модуль [3].

Физический модуль системы планирования направлен на расчёт поглощённой дозы и состоит из отдельных программ, имеющих свою специфику работы. Централизованная

работа всех составляющих модуля, а также обеспечение связи с другими компонентами планирующей системы будет осуществляться посредством графической оболочки.

В работе представлен функционал графической оболочки Физического модуля системы планирования ионной лучевой терапии, разрабатываемой при помощи Qt [4]. Показана общая идеология графического интерфейса, а также его текущее состояние. Продемонстрирована организация работы отдельных составляющих системы, отвечающих за обработку медицинских файлов в формате DICOM, построение болюса и работу с дозовыми распределениями.

### Литература

1. Fujitaka S. et al. Physical and biological beam modeling for carbon beam scanning at Osaka Heavy Ion Therapy Center. J Appl Clin Med Phys. 2021 Jul;22(7):77–92.
2. Pikalov V. A., Alexeev A. G., Antipov Y. M., et al. // Proc. RuPAC'2021 (Alushta, 2021). JA-CoW Publishing. 2021. P. 124–126.
3. Antipov Y. M., Vasilyeva A. G., Vasiliev D. A., et al. // Instrum. Exp. Tech. 2024. V. 67. No. 2. P. S300–S304.
4. <https://contribute.qt-project.org>

## ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА СИСТЕМ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ: СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД

Соловьев А.Н.<sup>1,2</sup>, Кизилова Я.В.<sup>1</sup>, Чернуха А.Е.<sup>1</sup>,  
Казаков Е.И.<sup>1</sup>, Сабуров В.О.<sup>1</sup>, Корякин С.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> МРЦН им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России

<sup>2</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск, Россия

E-mail: salonf@mrrc.obninsk.ru

Ключевые слова: планирование лучевой терапии; математическое моделирование; высокопроизводительные вычисления; нейтронная терапия;

Современная лучевая терапия, которая, несомненно, широко востребована всем медицинским сообществом, опирается на достоверные, измеримые и предсказуемые характеристики подводимых полей. Независимо от фактической модальности облучения, вопрос обеспечения надёжного и эффективного лечения, зависящего, в свою очередь, от качества реализации алгоритмов дозиметрического планирования, остаётся весьма актуальным.

В настоящей работе будут рассмотрены аспекты современной реализации систем планирования на базе высокопроизводительных вычислений. В качестве основной методологии построения подобных систем рассматриваются собственные подходы [1], которые нашли свою практическую реализацию в составе перспективного комплекса нейтронной терапии на базе генератора НГ-24МТ (ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова, ГК РОСАТОМ, проект «Нейтроникс») [2]. Также будут представлены характеристики обособленных программных реализаций, предназначенные для оптимизации полей в задачах планирования протонной терапии. [3]. Наконец, будет уделено внимание альтернативным подходом к реализации задач транспорта излучения лёгких заряженных частиц на основе численных решений особых дифференциальных уравнений в варианте дискретизации [4].

Отдельно стоящим аспектом, свойственным и характерным уже для корпускулярной терапии, является обеспечение эффективного предсказания биологического компонента подводимых дозных воздействий. В частности, было предложено решение по оперативному вычислению относительной биологической эффективности протонной компоненты излучения при быстрой нейтронной терапии [5]. Начата разработка инновационного программно-

технического модуля вычисления биологической эффективности в интересах работ центра углеродной терапии на базе действующего ускорителя У-70 (НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ).

Таким образом, эффективная реализация алгоритмических и технологических подходов к дозиметрическому планированию является неотъемлемым звеном разработки и эксплуатации компьютерно-ориентированных систем.

### Литература

1. Комплекс программно-вычислительных средств моделирования терапевтических величин поглощенных доз в задачах лучевой терапии / А.Н. Соловьев, Я.В. Кизилова, Е.И. Казаков, С.Н. Корякин // *Russian Technological Journal*. — 2025. — Т. 13, № 4. — С. 7–24.
2. Дистанционная нейтронная терапия: первый отечественный медицинский комплекс / Ю.С. Мардынский, И.А. Гулидов, К.Б. Гордон и соавт. // *Вестник Российской академии наук*. — 2024. — Т. 94, № 1. — С. 80–86.
3. Аспекты равновесного программирования в задачах лучевой терапии частицами / Чернуха А.Е., Сабуров В.О., Адарова А.И. и соавт. // *Краткие сообщения по физике ФИАН*. — 2024. — Т. 51, № 9. — С. 60–70.
4. A computational algorithm proposal for Bragg curve evaluation using Focker-Planck formalism / L. Ndati, A. N. Solovev // Техногенные системы и экологический риск. Тезисы докладов VIII Международной (XXI Региональной) научной конференции. Обнинск, 17–18 апреля 2025 года, 2025. — С. 286–287.
5. Расчёт биологической эффективности протонной компоненты при нейтронном облучении 14.8 МэВ методами вычислительной биологии с использованием видеокарт / Гордон К.Б., Сабуров В.О., Корякин С.Н. и соавт. // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. — 2022. — Т. 173, № 2. — С. 263–267.

### ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ЯЗЫКА ПРИ НАЛИЧИИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИМПЛАНТОВ И КОРОНОК В ПОЛОСТИ РТА

Титова Л.В.<sup>1</sup>, Андреев М.Р.<sup>1,2</sup>, Вахтель В.М.<sup>1</sup>,  
Любашевский Д.Е.<sup>1</sup>, Щербина Ю.Д.<sup>1</sup>, Беляев Ю.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Воронежский госуниверситет, кафедра ядерной физики, Воронеж, Россия

<sup>2</sup> БУЗ ВО «Воронежский областной научно-клинический онкологический центр»,  
Воронеж, Россия

<sup>3</sup> БУЗ ВО «Воронежская городская клиническая больница скорой медицинской  
помощи № 8», Воронеж, Россия

E-mail: titova\_lv@phys.vsu.ru

В современной лучевой гамма-терапии одной из сложных задач является планирование облучений полости рта. Наличие имплантов, очевидно, усложняет этот процесс, искажая дозное поле, учитывая, что при этом допустимые отклонения дозы составляют не более 3%.

В данной работе проводилось исследование формирования и оценка изменений дозы с учетом рассеяния и поглощения гамма-излучения в полости рта при наличии имплантатов (коронки и штифты) проводилась на линейном ускорителе Varian Halcyon на базе БУЗ ВО «ВОНКОЦ». Для исследования было подготовлено несколько планов лучевой терапии: с использованием технологий расчета Acuros и AAA и методик планирования IMRT и RapidArc (VMAT), учитывающие клинические рекомендации для лечения рака языка [1]

с ежедневно предписанной дозой 2 Гр. В качестве облучаемого объекта выступал тканеэквивалентный фантом [2] языка из твердой воды со средней электронной плотностью 0 HU (в единицах Хаунсфилда), помещаемый в реалистичный макет головы человека, включавший имитирующий щеку болюс со средней электронной плотностью — 4 HU, зубы с 1600 HU, а также металлические коронки из нержавеющей стали (толщина стенки 0.3 мм, электронная плотность 8000 HU) и внутриканальные штифты. Облучаемый макет головы анализировался с помощью компьютерной томографии для разметки и дальнейшей подготовки плана лучевой терапии языка. Измерения поглощенной дозы [3] определялась с помощью гамма-камеры Fc-65E, помещаемой в центре фантома языка.

В результате исследования были получены оценки поглощенных доз языка с учетом наличия имплантатов в полости рта для различных планов лучевой терапии (табл. 1). Отклонение в экспериментальных данных поглощенных доз при облучении макета головы без имплантатов и с ними составляет в пределах 1,5%, что позволяет проводить лучевую терапию без необходимости извлечения стоматологических имплантов из полости рта пациента.

Таблица 1

**Поглощенные дозы языка с учетом наличия имплантов в полости рта  
для различных планов лучевой терапии**

План лучевой терапии	Поглощенная доза, Гр Реалистичный макет головы без имплантов	Поглощенная доза, Гр Реалистичный макет головы с имплантами	Отклонение поглощенной дозы, %
IMRT+AAA	1.878	1.858	1.06
IMRT+Acuros	1.879	1.861	0.96
VMAT+AAA	1.867	1.863	0.21
VMAT+Acuros	1.883	1.874	0.48

Кроме того, было установлено, что в зависимости от расположения зуба в полости рта пациента поглощенная отдельным зубом доза находится в диапазоне от 0,2 до 1,8 Гр.

### Литература

1. Рак слизистой оболочки полости рта: МКБ 10: C02–C06: клинические рекомендации / Минздрав Российской Федерации, Российское общество специалистов по опухолям головы и шеи, Ассоциация онкологов России. — Москва, 2017. — 22 с.
2. Stuchebrov S. G., Miloichikova I. A., Krasnykh A. A. // Journal of Physics: Conference Series. — 2016 — Vol. 732. P. 1–6.
3. Ратнер Т. Г., Лютова Н. А. Клиническая дозиметрия. Теоретические основы и практическое применение. — М: Весть, 2006. — 267 с.

## **Секция 2**

# **Ядерная медицина**

9 декабря 2025. Зал-трансформер коворкинга 1 учебного корпуса МГУ (Ленинские горы, 1, стр. 51)

**Председатели секции:** д.м.н. А.А. Станжевский; д.ф.-м.н. М.В. Желтоножская; к.ф.-м.н. А.А. Кузнецов



## РАЗРАБОТКА АПТАМЕР-МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ РАДИОМЕДИЦИНЫ

Осминкина Л.А.<sup>1,2</sup>, Попов А.Л.<sup>3</sup>, Тюрин-Кузьмин П.А.<sup>1,2</sup>, Назаровская Д.А.<sup>1</sup>,  
Перетыкин А.А.<sup>4</sup>, Лукан Н.А.<sup>5</sup>, Васильева М.И.<sup>1</sup>, Колманович Д.Д.<sup>1,2,3</sup>,  
Цурикова У.А.<sup>1</sup>, Гончар К.А.<sup>1,2</sup>, Винник Д.Е.<sup>1</sup>, Шматченко В.М.<sup>1</sup>,  
Стяжкина Е.В.<sup>4</sup>, Кудрявцев А.А.<sup>1,2,3</sup>, Кичкайло А.С.<sup>5</sup>, Пряхин Е.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра медицинской физики,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт Биологического Приборостроения РАН, Пущино, Россия

<sup>3</sup> Институт Теоретической и Экспериментальной Биофизики РАН, Пущино, Россия

<sup>4</sup> Научно-исследовательского института радиационной биологии и радиационной  
медицины, ФГБУН ЮУрФНКЦ МБ ФМБА, Челябинск, Россия

<sup>5</sup> Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»  
(ФИЦ КНЦ СО РАН) Красноярск, Россия

E-mail: osminkina@physics.msu.ru

Наночастицы в радиомедицине рассматриваются как платформы для адресной доставки радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП), повышения локальной дозы облучения в опухолевой ткани и улучшения диагностической визуализации, что позволяет усиливать терапевтический эффект при снижении нагрузки на здоровые органы и ткани.

Наночастицы пористого кремния (pSi NPs) представляют собой перспективную платформу для доставки терапевтических агентов в радиомедицине благодаря развитой поверхности, биосовместимости и контролируемой биodeградации. Высокая пористость обеспечивает эффективную загрузку РФЛП, а также химиотерапевтических препаратов, что позволяет формировать комбинированные схемы радиохимиотерапии. Функционализация наночастиц пористого кремния аптамерами обеспечивает адресное взаимодействие с клетками-мишенями и повышает эффективность доставки радиофармацевтических препаратов.

Интеграция наночастиц золота в структуру пористого кремния (Au@pSi NPs) формирует композиты с выраженными плазмонными и радиосенсибилизирующими свойствами. Золото с высоким атомным номером усиливает поглощение и рассеяние ионизирующего излучения, повышая генерацию вторичных электронов и активных форм кислорода, что приводит к усиленному повреждению ДНК и снижению выживаемости опухолевых клеток при облучении, а плазмонный отклик золота обеспечивают возможности оптической визуализации и спектроскопического мониторинга распределения композитов в биологических системах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-15-00137).

## КОНЬЮГАТ ЭНДОМЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНА ЛЮТЕЦИЯ С ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ И ФОЛИЕВОЙ КИСЛОТОЙ ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ

Титова А.В.<sup>1,2</sup>, Федорова Ю.А.<sup>1</sup>, Арутюнян А.В.<sup>2</sup>,  
Седов В.П.<sup>2</sup>, Лыхолай А.Н.<sup>3</sup>, Борисенкова А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), кафедра радиационной технологии

<sup>2</sup>Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
НИЦ «Курчатовский институт»

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
Ресурсный центр «Развитие молекулярных и клеточных технологий»

e-mail: anna.titova.v@mail.ru

Эндометаллофуллерены (ЭМФ) обладают мембранотропными свойствами, позволяющими им проникать через фосфолипидные мембраны, что делает возможным их использование в медицине [1]. Помещение радионуклида в фуллерен позволяет не только решить проблему его прицельной доставки к опухолевым клеткам, но и снизить его токсичное воздействие на организм [2, 3]. Конъюгат с инкапсулированным внутри фуллерена радиоактивным металлом, полимером и фолиевой кислотой (ФК) может стать перспективным препаратом, используемым в радиотерапии онкологических заболеваний. Полимер, входящий в состав конъюгата, обеспечивает ему биосовместимость, а ФК используется в качестве нацеливающего лиганда для некоторых типов опухолевых клеток, сверхэкспрессирующих фолатные рецепторы [4].

Целью данной работы являлось получение и характеристика ЭМФ лютеция природного изотопного состава с поливинилпирролидоном (ПВП) и фолиевой кислотой (ФК) в качестве прототипа РФП для направленной доставки к опухолевым клеткам.

ЭМФ-содержащая сажа была получена путем электродугового испарения графитовых электродов, наполненных смесью оксида лютеция с графитом. ЭМФ лютеция ( $\text{Lu}_2@C_{82-84}$ ) выделяли из сажи селективным комплексобразованием кислотой Льюиса с последующим разделением с помощью препаративной ВЭЖХ. Выделенный  $\text{Lu}_2@C_{82-84}$  был конъюгирован с ФК и ПВП. Конъюгат ФК-ПВП- $\text{Lu}_2@C_{82-84}$  охарактеризован методами MALDI-TOF масс-спектрометрии, УФ, твердотельной  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектрометрии. Методом динамического рассеяния света установлен размер и дзета-потенциал частиц, которые конъюгат образует в водном растворе. Оценена устойчивость ФК в составе ФК-ПВП- $\text{Lu}_2@C_{82-84}$  конъюгата с разным рН к УФ (205–400 нм) и облучению электронами.

По полученным данным был сделан вывод, что в водных растворах синтезированные конъюгаты обладают параметрами, необходимыми для их использования в терапии или диагностике онкологических заболеваний.

### Литература

1. Water-Soluble Endohedral Metallofullerenes: New Horizons for Biomedical Applications / W. Kopcha, R. Biswas, Y. Sun et al. // Chemical Communications. — 2023. — P. 59.
2. A Novel Drug Design Strategy: An Inspiration from Encaging Tumor by Metallofullerenol  $\text{Gd}@C_{82}(\text{OH})_{22}$  / Li J. et al. // Molecules. — 2019. — Vol. 24. — №. 13. — P. 2387.
3. Highly-iodinated fullerene as a contrast agent for X-ray imaging / Wharton T., Wilson L. J. // Bioorganic & medicinal chemistry. — 2002. — Vol. 10. — №. 11. — P. 3545–3554.
4. Gene delivery to tumor cells by cationic polymeric nanovectors coupled to folic acid and the cell-penetrating peptide octaarginine / Jiang Q. Y. et al. // Biomaterials. — 2011. — Vol. 32. — №. 29. — P. 7253–7262.

## РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОЙОДТЕРАПИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО РАКА ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Трухин А.А.<sup>1,2</sup>, Юдаков Д.В.<sup>1,2</sup>, Фролов К.В.<sup>1,2</sup>, Ярцев В.Д.<sup>3</sup>,  
Дубровина Е.И.<sup>4</sup>, Абдуллаев С.А.<sup>5</sup>, Мальцев М.С.<sup>6</sup>, Гришков С.В.<sup>7</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова» Минздрава России

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

<sup>3</sup> ФГБНУ «НИИГБ им. М.М. Краснова»

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России

<sup>5</sup> ФГБУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА

<sup>6</sup> Московский многопрофильный клинический центр «Коммунарка»

<sup>7</sup> ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России

E-mail: alexey.trukhin12@gmail.com

С 27 марта 2025 года в действие СанПиН 2.6.4115-25, где в Приложения 11 указано требование к регистрации показателя «поглощенная доза в органе-мишени и в радиочувствительных органах и тканях для всех видов лучевой и радионуклидной терапии» [1]. Регистрация показателя поглощенной дозы в радиочувствительных органах (РО) сопряжена с рядом измерительных и вычислительных действий, которые приводят к росту дисперсии показателя и в перспективе к низкой прогностической ценности моделей оценки реакций РО [2].

Наиболее часто применяемой радионуклидной терапией (РНТ) является радиойодтерапия (РЙТ) [3]. Для разработки воспроизводимых методик оценки показателей облучения РО предлагается рассмотреть неблагоприятные явления применения Натрия йодида I-131 при лечении дифференцированного рака щитовидной железы (ДРЩЖ). ФГБУ «НМИЦ эндокринологии им. академика И.И. Дедова» Минздрава России совместно с:

1. ФГБНУ «НИИГБ им. М.М. Краснова» проведено исследование вторичной облитерации слезных протоков при проведении РЙТ ДРЩЖ. В результате установлено, что осложнение встречается в 10–25% случаев, частота зависит от количества РЙТ, наиболее часто встречается у пациентов, получивших более 150 мКи I-131. Было показано, что осложнение проявляется спустя 12–24 месяцев после РЙТ. Разработан метод оценки риска вторичной облитерации слезоотводящих путей, включающий в себя способы обработки скинтиграфических изображений головы и шеи на 72 час после РЙТ и способ определения интенсивности накопления радиофармацевтического лекарственного препарата на основе I-131 в слезоотводящих путях [4].

2. ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России исследована группа пациентов с жалобами на работу слюнных желез. Так по клинико-рентгенологическим данным у 27% пациентов в позднем постлучевом периоде выявляется, различное сочетание необратимых повреждений от одной до четырех больших слюнных желез, однако в 42% поражается одна околоушная слюнная железа. При этом показатели качества жизни объективно снижаются в ранние и отдаленные сроки после проведения РЙТ [5].

3. ФГБУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России выдвинута гипотеза о том, что уровни экспрессии микроРНК после РЙТ ассоциирован гематологической токсичности [6]. Разработан дизайн исследования, включающий набор когорты пациентов с ДРЩЖ, оценка индивидуальной максимально переносимой дозировки I-131 и анализ экспрессии отобранных микроРНК до и на 72 час после введения I-131.

Описанные выше результаты свидетельствуют о наличии серии дополнительных прогностически ценных параметров пациента, которые влияют на нарушение функции РО при РНТ. Данный факт следует учитывать при анализе показателей облучения РО. Кроме того,

полезным будет применение современных способов количественной оценки накопления РФЛП. Так была установлена высокая прогностическая ценность текстурных признаков накопления I-131 на посттерапевтической ОФЭКТ/КТ [7].

### Литература

1. СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения» / утв. ГГСВ РФ 27.03.2025.
2. Alessandra Pecora. Texture analysis in metastases of patients affected by metastatic differentiated thyroid carcinoma treated with I-131: thesis PhD: защищена 26.03.2019 -Torino. 2019. — 130 с.
3. Implementation of dosimetry for molecular radiotherapy results from a European survey / Peters S., Tran-Gia J., Agius S. [et al.] // Phys Med. — 2024
4. Ярцев В.Д. Патогенетически обоснованная система профилактики и коррекции вторичной облитерации слезоотводящих путей вследствие терапии радиоактивным йодом: дисс. д.м.н: 3.1.5: защищена 14.10.24: утв. / М.Н. Иванов. — М., 2024. — 317 с.
5. Дубровина Е.И. Клинико-функциональные особенности течения радиойод-ассоциированного сиалоаденита при патологии щитовидной железы: дисс. к.м.н: 3.1.1: защищена 21.01.26: утв. / С.А. Рабинович. — М., 2026. — 170 с.
6. Jia M., Wang Z. MicroRNAs as Biomarkers for Ionizing Radiation Injury // Front. Cell Dev. Biol. 2022. V. 10. P. 861451.
7. Применимость текстурных признаков ОФЭКТ/КТ в оценке ответа дифференцированного рака щитовидной железы на радиойодтерапию / Мальцев М.С., Рейнберг М.В., Трухин А.А. [и др.] // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2025. Т. 21. № 1. С. 4–14.

## ПРОИЗВОДСТВО ТЕРБИЯ-161 В НИЦ КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ

Фуркина Е.Б.<sup>1</sup>, Алиев Р.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», Москва, Россия*

E-mail: furkina-k@yandex.ru

Одним из наиболее интересных новых медицинских радионуклидов в настоящее время является  $^{161}\text{Tb}$  [1]. Показано, что он более эффективен, чем  $^{177}\text{Lu}$ , благодаря испусканию не только  $\beta$ -частиц, но также Оже- и конверсионных электронов [2–4]. Помимо этого, у  $^{161}\text{Tb}$  есть мягкая гамма-линия (74.56 кэВ, 10.2%), которая позволяет визуализировать накопление радиофармацевтических лекарственных препаратов в процессе лечения [5]. В настоящее время проводятся клинические исследования препарата [ $^{161}\text{Tb}$ ]Tb-DOTA-LM3 на основе антагониста соматостатиновых рецепторов, которые предполагается использовать для терапии нейроэндокринных опухолей [6, 7]. Недавно опубликованы результаты фазы 1/2 клинических исследований препарата [ $^{161}\text{Tb}$ ]Tb-PSMA-I&T, показавшие его безопасность и противоопухолевую активность в отношении рака простатической железы [8]. Дальнейшие исследования и переход к практическому использованию препаратов на основе  $^{161}\text{Tb}$  требуют разработки масштабируемых для промышленного производства методик выделения  $^{161}\text{Tb}$  с соблюдением фармакопейных требований качества полученного изотопа.

В рамках представленной работы разработана методика радиохимического выделения медицинского радионуклида  $^{161}\text{Tb}$  из облученных тепловыми нейтронами в реакторе ИР-8 НИЦ «Курчатовский Институт» мишеней [ $^{160}\text{Gd}$ ]Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> массами 10–13 мг (рис. 1). Исследовано влияние концентрации мишенного гадолиния на эффективность разделения гадолиния и тербия на сорбенте LN Resin на основе ди-2-этилгексил фосфорной кислоты. Для разделения Tb и Gd использованы две колонки с сорбентом LN Resin, для концентрирования

металлов и изменения кислотности использован сорбент DGA Resin. Очистка от органических примесей проведена с помощью сорбента Prefilter. Методика не включает стадий, связанных с упариванием, что является существенным преимуществом при реализации процесса в горячей камере. Выход продукта составил 80–85 %, коэффициент разделения Tb/Gd  $\sim 10^4$ , содержание мишенного гадолиния не более 120 нг/мл. В пробных экспериментах было получено до 1 ГБк  $^{161}\text{Tb}$ .

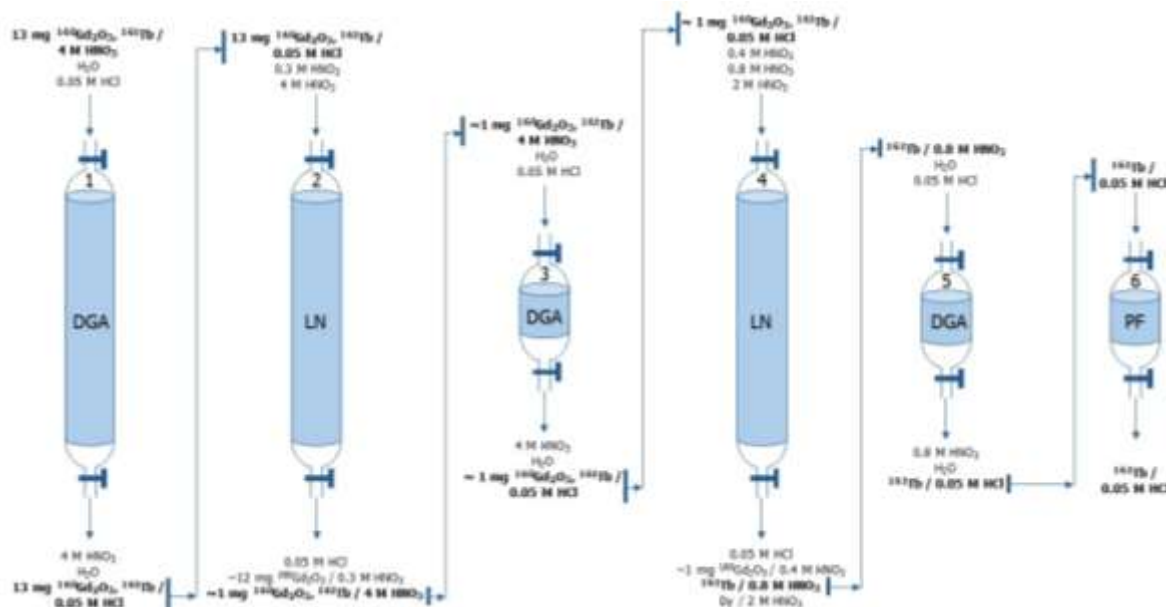


Рис. 1. Схема методики выделения  $^{161}\text{Tb}$  из облученной гадолиниевой мишени

### Литература

1. Müller C, Van Der Meulen NP, Schibli R (2023) Opportunities and potential challenges of using terbium-161 for targeted radionuclide therapy in clinics. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 50:3181–3184. <https://doi.org/10.1007/s00259-023-06316-y>
2. Verburg FA, De Blois E, Koolen S, Konijnenberg MW (2023) Replacing Lu-177 with Tb-161 in DOTA-TATE and PSMA-617 therapy: potential dosimetric implications for activity selection. *EJNMMI Phys* 10:69. <https://doi.org/10.1186/s40658-023-00589-w>
3. Al-Ibraheem A, Scott AM (2023)  $^{161}\text{Tb}$ -PSMA Unleashed: a Promising New Player in the Theranostics of Prostate Cancer. *Nucl Med Mol Imaging* 57:168–171. <https://doi.org/10.1007/s13139-023-00804-7>
4. Larouze A, Alcocer-Ávila M, Morgat C, et al (2023) Membrane and Nuclear Absorbed Doses from  $^{177}\text{Lu}$  and  $^{161}\text{Tb}$  in Tumor Clusters: Effect of Cellular Heterogeneity and Potential Benefit of Dual Targeting — A Monte Carlo Study. *J Nucl Med* 64:1619–1624. <https://doi.org/10.2967/jnumed.123.265509>
5. Durán MT, Juget F, Nedjadi Y, et al (2020) Determination of  $^{161}\text{Tb}$  half-life by three measurement methods. *Appl Radiat Isot* 159:109085. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109085>
6. Borgna F, Barritt P, Grundler PV, et al (2021) Simultaneous Visualization of  $^{161}\text{Tb}$ - and  $^{177}\text{Lu}$ -Labeled Somatostatin Analogues Using Dual-Isotope SPECT Imaging. *Pharmaceutics* 13:536. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13040536>
7. Borgna F, Haller S, Rodriguez JMM, et al (2022) Combination of terbium-161 with somatostatin receptor antagonists—a potential paradigm shift for the treatment of neuroendocrine neoplasms. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 49:1113–1126. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05564-0>
8. Buteau JP, Kostos L, Jackson PA, et al (2025) First-in-human results of terbium-161 [ $^{161}\text{Tb}$ ]Tb-PSMA-I&T dual beta–Auger radioligand therapy in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer (VIOLET): a single-centre, single-arm, phase 1/2 study. *Lancet Oncol* 26:1009–1017. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(25\)00332-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(25)00332-8)

## **Секция 3**

# **Цифровые технологии для мониторинга здоровья**

10 декабря 2025. Лекторий коворкинга 1 учебного корпуса МГУ (Ленинские горы, 1, стр. 51)

**Председатели секции:** д.м.н. Я.А. Орлова; к.м.н. Е.И. Зимакова; к.э.н. С.С. Отставнов

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАРКЕРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Захарчук С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Факультет фундаментальной медицины МНОИ МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия

E-mail: szakharchuk5@gmail.com

**Ключевые слова:** хроническая сердечная недостаточность, искусственный интеллект, машинное обучение.

**Введение.** Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) — клинический синдром, развивающийся как исход большинства сердечно-сосудистых заболеваний и ассоциированный с высокой смертностью и снижением качества жизни. Диагностика ХСН в реальной практике нередко затруднена, особенно с учетом преобладания фенотипа с сохранённой фракцией выброса [1]. Ранняя диагностика повышает вероятность замедления прогрессирования заболевания и улучшения прогноза. В связи с этим возрастает интерес к методам искусственного интеллекта, способным интегрировать рутинные клинико-лабораторные данные и выявлять скрытые паттерны, повышая точность раннего распознавания ХСН [2].

**Цель исследования.** Провести анализ ключевых признаков для поиска новых маркеров ХСН с помощью разработанной модели машинного обучения.

**Материалы и методы.** В исследование включены 5506 пациентов, проходивших обследование в университетской клинике МНОИ МГУ имени М. В. Ломоносова. ХСН диагностирована у 456 пациентов (8,3%), что сопоставимо с эпидемиологическими данными [3]. Были проанализированы клинико-демографические характеристики, сведения о коморбидности и лабораторные показатели, полученные в рамках диспансеризации. Дополнительно были рассчитаны индексы воспаления и гематологического статуса (NLR, dNLR, PLR, CRP-NLR, CRP-PLR, IG/RDW). В качестве итогового алгоритма использована ансамблевая стекинг-модель. Отбор лучшей модели проводили по AUC-ROC. Для интерпретации выполнен SHAP-анализ значимости признаков.

**Результаты.** Пациенты с ХСН характеризовались выраженной коморбидностью и имели АГ (95,0%), ИБС (46,7%), инсульт в анамнезе (9,0%), СД 2 типа (27,4%). В структуре ХСН преобладал фенотип ХСН с сохранённой фракцией выброса левого желудочка (85,1%). Целевая метрика AUC-ROC стекинг-модели составила 0,856, что превосходит существующие модели минимум на 5% [4], график AUC-ROC представлен на рис. 1.

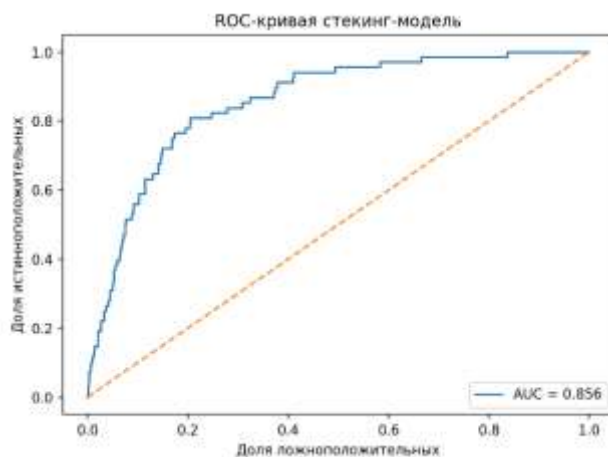


Рис. 1. ROC-кривая стекинг-модели для диагностики ХСН

Наибольший вклад в прогноз ХСН вносит АГ, ассоциированная с гипертрофией и ремоделированием левого желудочка и последующим нарушением его функции. Вторым по значимости фактором выступает наличие ИБС, что отражает ведущую роль ишемического ремоделирования миокарда в развитии сердечной недостаточности. С увеличением возраста вероятность ХСН возрастает вследствие накопления сердечно-сосудистых патологий и снижения компенсаторных возможностей. Среди лабораторных показателей значимыми предикторами были холестерин и RDW-SD. Добавленные индексы CRP-NLR и IG/RDW оказались значимыми и улучшили качество модели, подчёркивая вклад системного воспаления и нарушений гематологического гомеостаза в формирование ХСН. Результаты SHAP-анализа представлены на рис. 2.

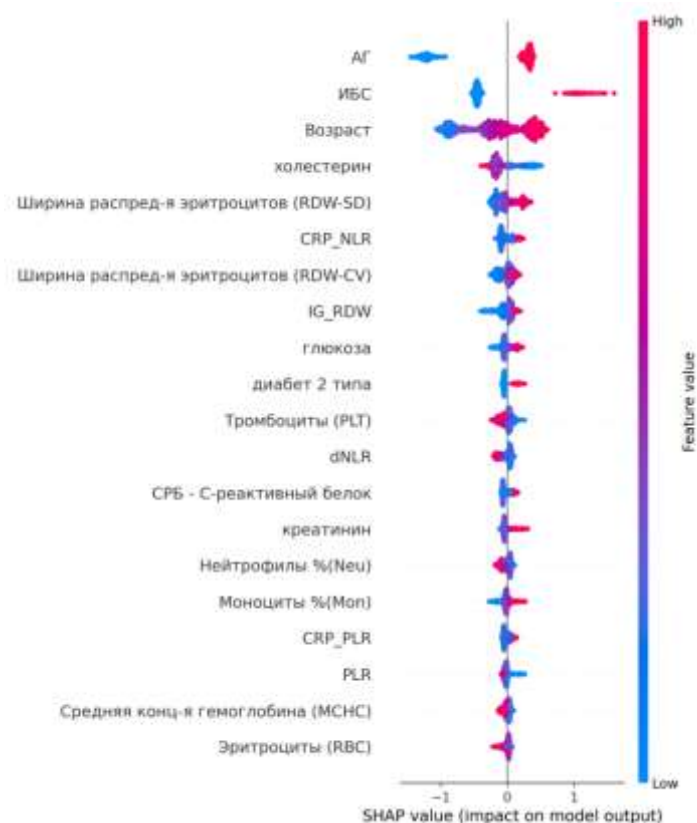


Рис. 2. SHAP-анализ признаков стекинг-модели для диагностики ХСН

**Заключение.** Разработанная стекинг-модель машинного обучения на основе рутинных клиничко-лабораторных данных продемонстрировала высокую диагностическую эффективность при выявлении ХСН. Интерпретация модели с помощью SHAP подтвердила ведущую роль ИБС, АГ и возраста в формировании прогноза, а также показала значимость лабораторных параметров (холестерин, RDW-SD). Включение интегральных воспалительных индексов (CRP-NLR, IG/RDW) обеспечило дополнительный вклад в дискриминацию и улучшило качество модели, что подчёркивает роль маркеров системного воспаления и гематологического статуса для раннего выявления ХСН. Полученные результаты поддерживают целесообразность применения искусственного интеллекта как инструмента скрининга и поддержки принятия врачебных решений.

### Литература

1. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M. et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure // *European Heart Journal*. — 2021. — Vol. 42, № 36. — P. 3599–3726. — <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>.



2. Ng K., Steinhubl S.R., deFilippi C., Dey S., Stewart W.F. Early Detection of Heart Failure Using Electronic Health Records: Practical Implications for Time Before Diagnosis, Data Diversity, Data Quantity, and Data Density // *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*. — 2016. — Vol. 9, № 6. — P. 649–658. — <https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.116.002797>.
3. Бойцов С.А., Драпкина О.М., Шляхто Е.В., Конради А.О., Баланова Ю.А., Жернакова Ю.В., Метельская В.А., Ощепкова Е.В., Ротарь О.П., Шальнова С.А. Исследование ЭССЕ-РФ (Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и их факторов риска в регионах Российской Федерации). Десять лет спустя. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021;20(5):3007. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-3007>
4. Hajishah H., Kazemi D., Safaee E. и др. Evaluation of machine learning methods for prediction of heart failure mortality and readmission: meta-analysis // *BMC Cardiovascular Disorders*. 2025. Vol. 25. Art. 264. <https://doi.org/10.1186/s12872-025-04700-0>.

## НОСИМЫЙ СЕНСОРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС КОПИРУЮЩЕГО ТИПА НА ОСНОВЕ ТЕНЗОРЕЗИСИВНЫХ И ИНЕРЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ

Маликова А.А.<sup>1</sup>, Брико А.Н.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> *Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, кафедра медико-технические информационные технологии, Москва, Россия*

E-mail: mar211375@student.bmstu.ru

Носимый сенсорный интерфейс копирующего типа предназначен для использования в различных областях, таких как взаимодействие с системами виртуальной и дополненной реальности, для управления промышленными манипуляторами [1] в зонах опасных для человека [2], а также используются для управления в телеоперациях и при реабилитации пациентов. Сенсорные перчатки применяются в качестве интерфейсов для обучения студентов, например, отработки движений при наложении швов, лапароскопии, тренировка пальпации или УЗИ-исследований в VR. Система объективно анализирует точность, скорость и траекторию движений студента, предоставляя обратную связь. В социальной сфере такие перчатки используются для перевода языка жестов для коммуникации со здоровыми людьми и помощи людям с нарушениями слуха, для интерпретации различных языков жестов для коммуникации между собой. [3]

Интерфейс предназначен для точного повторения базовых действий кисти оператора, использующая данные тензорезистивных и инерционных датчиков для дистанционного управления манипулятором. Сенсорная перчатка на данный момент позволяет определять: угол сгибания каждого пальца, силу нажатия указательного пальца, скорость и ускорение вращения кисти, угол её наклона, а также типы захвата. В настоящее время ведутся работы по интеграции в устройство системы тактильной обратной связи. Её реализация включает передачу оператору информации о силе сжатия, преобразуемой в виброотклик с помощью вибромотора, и о температуре объектов, для реализации планируется использоваться элемент Пельтье. Параллельно ведутся работы по повышению точности сигналов, передаваемых перчаткой. Кроме того, разрабатывается печатная плата и программное обеспечение для манипулятора, в который также будут интегрированы термистор и датчик давления.

Проведен эксперимент для оценки точности тензодатчика изгиба. Были спроектированы модели, соответствующие 45, 90 и 120 градусам. Датчик прикладывался к модели в течение 13 секунд, эксперимент повторялся 20 раз, далее построен доверительный интервал и оценена погрешность. Общая погрешность не превысила 5 процентов. [4] Проводилось исследование для оценки наилучшего расположения тензодатчика на пальце. Наиболее точные результаты были получены, когда тензодатчик изгиба располагался вдоль пальца

у начала ногтевой пластины с центральным позиционированием над суставом. В данной конфигурации зафиксированы минимальная погрешность, высокая повторяемость, наибольшая линейная зависимость выходного сигнала от угла изгиба, а также стабильность получаемых данных. Также данный эксперимент показал, что датчик изгиба непригоден для регистрации абдукции и аддукции.[4] Разработанное устройство показано на рис. 1.

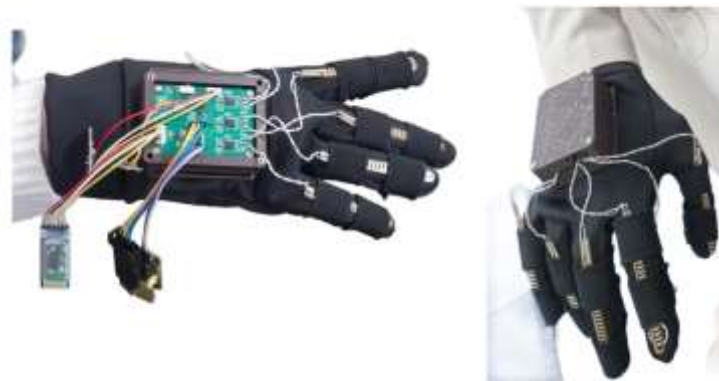


Рис. 1. Разработанная сенсорная перчатка

### Литература

1. Malikova A., Briko A.. Tools and methods for anthropomorphic bionic control of robotic telemanipulators // Biomedical Engineering. — 2025. — Vol. 56, No. 2. — P. 79–83. — DOI: 10.1007/s10527-022-10182-7.
2. Средства и методы антропоморфного бионического управления робототехническими телеманипуляторами / А. Маликова, А. Брико // Медицинская техника. — 2024. — № 4.
3. Saggio G. и др. Dynamic Measurement Assessments of Sensory Gloves Based on Resistive Flex Sensors and Inertial Measurement Units // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2023. Т. 72. С. 1–10.
4. A. Malikova, A. Briko “Investigation of the Effect of the Location of Flex Sensors in a Sensor Glove for Accurate Tracking of Hand Movements,” in Proc. of the USBEREIT Conf., Yekaterinburg, Russia, May 12–13, 2025.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫПОЛНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Шергин И.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Факультет Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ,  
кафедра интеллектуальных информационных технологий, Москва, Россия

E-mail: i.a.shergin@gmail.com

Всемирная Организация Здравоохранения утверждает [1], что за последние время значительно выросла распространенность недостаточной физической активности среди взрослых людей, что может привести к серьезным нарушениям работы организма человека. Для этого необходимо заниматься физической культурой. В массовом случае эффективность и корректность физических упражнений невозможно обеспечить без участия специалиста [2].

В докладе рассматривается проблема управления процессом выполнения физических упражнений и его оптимизации на основе персональных рекомендаций с помощью методов 2D-оценки позы человека [3] и нечеткого управления для построения архитектуры, состоящей из формирования признаков пространства, описывающее ход выполнения упражнения, и процессом принятия решения. Данный процесс основан на моделировании базы

знаний, которой оперирует эксперт предметной области (тренер) в момент выполнения тренировки упражняющимся.

С 2014 года активно развиваются методы оценки позы человека [4], они способны довольно точно определять положение конечностей и других частей тела на фото и видео. Это привело к появлению различных систем для анализа физических упражнений [5], но существующие решения не предоставляют достаточно полного функционала для моделирования протокола взаимодействия тренера и пользователя, который выполняет упражнение.

Во время выполнения произвольного действия или всего упражнения целиком тренер принимает решения о корректности различным образом. Он определяет набор правил для осуществления контроля, которые формулируются на естественном языке. Поэтому системы нечеткого управления должны хорошо справиться с задачей моделирования принятия решений.

В данном докладе предлагается подход к реализации архитектуры для системы анализа выполнения физических упражнений. Система состоит из процесса построения признакового пространства, с помощью которого можно описать ход выполнения человеком произвольного физического упражнения, и процесса принятия решений на его основе. Вводится классификация полученного набора признаков. Признаки статики (статические) — определяются для конкретного положения тела пользователя в момент выполнения упражнения. Признаки динамики (динамические) — определяются на основе изменений положения тела пользователя во времени в момент выполнения упражнения. Для их определения необходима последовательность кадров. Базовые признаки — признаки, которые определяются только на основе ключевых точек позы человека. Агрегационные признаки — признаки, которые определяются на основе базовых признаков.

Полученное признаковое пространство позволяет перейти к формированию системы нечетких правил и формализации базы знаний эксперта-тренера, который управляет процессом тренировки, чтобы смоделировать контроль выполнения физических упражнений. При выполнении отдельного действия или всего упражнения в целом тренер по-разному оценивает правильность и принимает соответствующие решения. Он устанавливает набор правил для контроля, выраженных на естественном языке. В связи с этим система нечёткой логики будет эффективно справляться с моделированием процесса принятия решений.

Такая гибридная интеллектуальная система анализа выполнения физических упражнений может найти применение в спорте, здравоохранении и реабилитации [6]. Реализация в виде веб- или мобильного приложения позволит пользователям эффективнее развивать свои физические навыки в автономном режиме, что приведёт к сокращению времени на обучение и уменьшению числа травм.

### Литература

1. WHO, Nearly 1.8 billion adults at risk of disease from not doing enough physical activity, 2024.
2. Yunhang Lu, and et al., Comparing the impact of personal trainer guidance to exercising with others: Determining the optimal approach, 2024.
3. Шергин И.А., Рыжов А.П., Проблема оценки позы человека: задачи, методы, решения, 2024.
4. Toshev A., Szegedy C. DeepPose; Human Pose Estimation via Deep Neural Networks, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014
5. A Method for Specifying Yoga Poses Based on Deep Learning, Utilizing OpenCV and Media Pipe Technologies, 2024.
6. Mahendran N. Deep Learning for Fitness, 2021.

## ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ МОЛОДЁЖИ

**Зимакова Екатерина Игоревна<sup>1</sup>**

к.м.н., ассистент кафедры терапии

<sup>1</sup>*Факультет фундаментальной медицины*

*Медицинского научно-образовательного института МГУ имени М.В.Ломоносова*

E-mail: dr.katyusha@mail.ru

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются ведущей причиной смертности во всем мире. Стратегии профилактики, направленные на коррекцию факторов риска (ФР) ССЗ, традиционно фокусируются на взрослой и пожилой популяции, тогда как молодёжь остаётся недостаточно охваченной целевыми вмешательствами. Именно в молодом возрасте происходит формирование устойчивых поведенческих паттернов, что делает данный период критически важным для первичной профилактики и закладки основ здорового образа жизни [1].

Многочисленными исследованиями доказано влияние поведенческих, биологических и социальных детерминант на качество и продолжительность жизни. Данные, полученные в результате нашего исследования обучающихся МГУ имени М.В. Ломоносова, выявили существенную распространённость ключевых модифицируемых факторов риска ССЗ (таких как низкая физическая активность, неправильное питание, избыточная масса тела и ожирение, курение, нарушения сна) на фоне недостаточной осведомлённости молодых людей об этих факторах риска. Это свидетельствует о необходимости целенаправленного повышения информированности и готовности к изменениям образа жизни в данной когорте пациентов.

Низкий уровень физической активности обучающихся требует более глубокого изучения и необходимости применения новых инструментов для ее оценки, а также повышения мотивации молодых людей к занятиям спортом. Дополнительным фактором, который подчеркивает ценность физической активности, является ее положительное влияние на преодоление тревожных и стрессовых состояний [2].

Оценка уровня физической активности проводится и в рамках диспансеризации молодых людей с помощью анкетирования. В соответствии с Порядком проведения профилактических осмотров и диспансеризации согласно Приказу Минздрава России [3] в «Анжете для граждан в возрасте до 65 лет на выявление хронических неинфекционных заболеваний, факторов риска их развития, потребления наркотических средств и психотропных веществ без назначения врача», используемой при проведении первого этапа диспансеризации согласно утвержденным Методическим рекомендациям [4], для определения уровня физической активности имеется только 1 вопрос: «Сколько минут в день Вы тратите на ходьбу в умеренном или быстром темпе (включая дорогу до места работы и обратно)?». Варианты ответа могут быть следующие: «до 30 минут» или «30 минут и более». Данный вопрос позволяет получить ограниченную информацию об уровне физической активности. По результатам нашего исследования, положительный ответ на этот вопрос не был ассоциирован с уровнем кардиореспираторной выносливости у молодых людей. Поэтому нами был добавлен вопрос, позволяющий выявить лиц с высоким уровнем физической активности: «Вы занимаетесь спортивными тренировками (ходьбой, бегом, плаванием, беговыми лыжами или велосипедным спортом) 3 раза в неделю или чаще?» В качестве ответа необходимо было выбрать «Да» или «Нет» [5].

Современный арсенал цифровых технологий предоставляет широкие возможности для исследования физической активности молодых людей. Мобильные приложения, умные трекеры и носимые устройства обладают значительным потенциалом для непрерывного мониторинга показателей здоровья, объективной оценки уровня физической активности, повышения приверженности здоровому образу жизни и раннего выявления отклонений от физиологической нормы.

Таким образом, формирование эффективной стратегии профилактики ССЗ среди молодёжи требует комплексного подхода, интегрирующего просветительские программы, индивидуальную оценку факторов риска и активное внедрение цифровых решений для мониторинга здоровья. Цифровые технологии представляются перспективным инструментом для усиления мотивационного компонента, обеспечения самоконтроля и, как следствие, снижения кардиометаболического риска у молодого поколения.

### Литература

1. Кардиоваскулярная профилактика 2022. Российские национальные рекомендации / С.А. Бойцов, Н.В. Погосова, А.А. Аншелес и др. // Российский кардиологический журнал. — 2023. — № 28 (5). — С. 119–249.
2. Singh, B. Effectiveness of physical activity interventions for improving depression, anxiety and distress: an overview of systematic reviews / B. Singh // Br J Sports Med. — 2022. — № 57. — P. 106–195.
3. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 27 апреля 2021 г. № 404н «Об утверждении Порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения».
4. Методические рекомендации «Стандартная операционная процедура по проведению профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения» / Драпкина О.М., Дроздова Л.Ю., Якимова Ю.В. и др. — М.: ФГБУ «НМИЦ ТПМ» Минздрава России, 2022. 68 с.
5. Зимакова, Е.И. Гиподинамия как фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний у молодых людей: информированность, самооценка и результаты нагрузочного теста / Е.И. Зимакова, А.Г. Плисюк, Ю.Л. Беграбеева, Д.А. Рыбаков, И.Ш. Даудов, Я.А. Орлова // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. — 2024. — Т. 23, № 6. — С. 42–49.

## **Секция 4**

# **Радиационная обработка биообъектов и материалов**

10 декабря 2025. Зал-трансформер коворкинга 1 учебного корпуса МГУ (Ленинские горы, 1, стр. 51)

**Председатели секции:** д.б.н. В.В. Розанов, д.ф.-м.н. У.А. Близнюк

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАДИОЗАЩИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Вагин К.Н., Галлямова М.Ю., Рахматуллина Г.И., Фролов А.В., Юнусов И.Р.

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной  
и биологической безопасности», ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»,  
Научный городок-2, Казань, 420075, Республика Татарстан, Россия

E-mail: vnivi@mail.ru

Целью проведенного исследования явилась разработка потенциального радиозащитного препарата на основе радиомодифицированного производственного штамма *Escherichia coli* «ПЛ-6».

В рамках исследования были изучены прямые эффекты ионизирующего излучения на культуру клеток производственного штамма *Escherichia coli* «ПЛ-6» (1). Анализ включал фенотипические (активность антиоксидантных ферментов, морфологические изменения) и генетические (изменения в выбранных локусах) свойства. Облучение проводилось в возрастающих дозах от 3,5 до 10 кГр с шагом 0,5 кГр и от 10 до 30 кГр с шагом 5 кГр. В качестве контроля использовалась необлученная клеточная суспензия того же поколения.

В результате облучения был получен радиорезистентный штамм *Escherichia coli* «ПЛ-R30», для которого определена инактивирующая доза ионизирующего излучения, равная 31 кГр. Увеличение дозы облучения повышало радиорезистентность исходного штамма, однако последующие облучения клеток, выживших после менее интенсивного воздействия, приводили к снижению количества жизнеспособных клеток. Морфометрический анализ показал, что влияние радиационного фактора вызывает уменьшение размеров бактериальных клеток. Активность ферментов антиоксидантной системы увеличивалась при облучении: каталазная активность возрастала в 5 раз, супероксиддисмутазы — в 1,5 раза, а пероксидазы — в 4 раза (2).

На основе радиомодифицированного штамма *Escherichia coli* «ПЛ-R30» было разработано радиозащитное средство (РС ПЛ-R30). Были проведены исследования его безвредности, токсичности и радиозащитных свойств. Введение средства белым мышам подкожно или перорально в дозе 0,5 мл на голову не вызывало гибели животных или признаков токсического отравления при максимальной активности ферментов. Радиозащитную активность средства проверяли на белых мышах, крысах и кроликах. Оценка проводилась по 30-суточной выживаемости и фактору изменения дозы (ФИД). Профилактическое введение РС ПЛ-R30 белым мышам за 24 часа до облучения в дозе 6,5 Гр обеспечило 100% выживаемость против 50% в контрольной группе. Аналогичный эффект наблюдался при облучении в дозе 9,25 Гр без использования средства, что свидетельствует о повышении радиорезистентности в 1,42 раза. Подкожное введение РС ПЛ-R30 крысам за 24 часа до облучения в дозе 6,0 Гр также обеспечило 100% выживаемость, что в 1,42 раза выше, чем в контрольной группе. Профилактическое применение средства кроликам в дозе 1,0 мл за 24 часа до облучения в дозе 11 Гр (ЛД100) обеспечило 60% выживаемость.

### Литература

1. Радиозащитные ветеринарные препараты на основе веществ микробного происхождения — приоритетное направление радиационной безопасности / К. Н. Вагин, В. Г. Семенов, Р. Н. Низамов [и др.]. — Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2023. — 250 с. — ISBN 978-5-7677-3663-8.
2. Фенотипическая изменчивость *E. Coli*, индуцированная  $\gamma$ -лучами  $^{60}\text{Co}$  / М. Ю. Галлямова, К. Н. Вагин, Р. Н. Низамов [и др.] // Ветеринарный врач. — 2021. — № 3. — С. 19–23. —

DOI 10.33632/1998-698X.2021-3-19-23. — EDN КВААНЛ. Радиозащитный эффект препаратов микробного происхождения при острой лучевой болезни / Р. Н. Низамов, Н. М. Василевский, Р. Н. Низамов [и др.] // Ветеринарный врач. — 2021. — № 2. — С. 34–38. — DOI 10.33632/1998-698X.2021-2-34-38.

## ДВУХЭТАПНЫЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ БИООБЪЕКТОВ

Золотов С.А.<sup>1</sup>, Ипатова В.С.<sup>2</sup>, Близнюк У.А.<sup>1,2</sup>, Борщеговская П.Ю.<sup>1,2</sup>,  
Никитченко А.Д.<sup>3</sup>, Зубрицкая Я.В.<sup>1,2</sup>, Козлова Е.К.<sup>4</sup>, Черняев А.П.<sup>1,2</sup>, Родин И.А.<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына,  
Москва, Россия

<sup>3</sup> Физический факультет МГУ, кафедра математики, Москва, Россия

<sup>4</sup> Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, кафедра медицинской и биологической физики,  
Москва, Россия

<sup>5</sup> Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, кафедра эпидемиологии и доказательной медицины,  
Москва, Россия

<sup>6</sup> МИРЭА — Российский технологический университет, Институт тонких химических  
технологий им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: Ignobillium@yandex.ru, vikipatova@gmail.com

Радиационная обработка продуктов питания широко применяется для борьбы с опасными микроорганизмами и продления сроков годности продукции [1]. По мере ежегодного роста объемов пищевого сырья, обрабатываемого ионизирующим излучением, возрастает необходимость в определении оптимальных диапазонов доз, подходящих для различных категорий продуктов. Эти дозы должны учитывать содержание основных биомакромолекул (жиров, белков, углеводов и воды), тип упаковки, начальный уровень микробного загрязнения и тип микроорганизмов, а также однородность распределения поглощенной дозы по объему обрабатываемого продукта.

В настоящее время в России промышленные центры радиационной обработки преимущественно используют ускорители электронов, поскольку они обеспечивают более высокую скорость и эффективность обработки в сравнении с радионуклидными источниками. В связи с этим растёт спрос на программное обеспечение, позволяющее определять параметры облучения, необходимые для достижения максимально равномерного распределения дозы электронного пучка в пределах оптимального диапазона для каждого типа продукта. Такие продукты могут существенно различаться по физическим свойствам — линейным размерам, форме и плотности.

В данной работе предлагается комплексный двухэтапный подход к определению оптимальных условий радиационной обработки. **На первом этапе** проводится компьютерное моделирование параметров облучения с использованием инструментария Geant4 (Geant4 collaboration; CERN, Швейцария) для получения максимально равномерного распределения дозы в конкретном пищевом продукте с заданными физическими характеристиками. **На втором этапе** определяется оптимальный диапазон доз, обеспечивающий максимальное подавление микроорганизмов при минимальном повреждении биомакромолекул продукта, с учётом рассчитанной ранее равномерности распределения дозы.



Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-63-00075.

### Литература

1. Черняев А.П., Розанов В.В., Козлова Е.К., Матвейчук И.В., Близнюк У.А., Ипатова В.С. Радиационные технологии обработки биообъектов // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. Том 80, № 3, с. 2530201

## ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ШЕРСТНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ У ОВЕЦ

**Ишмухаметов К.Т., Курбангалеев Я.М., Шакуров М.М.,  
Плотникова Э.М., Гайнутдинов Т.Р.**

*Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности  
(ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ»), г. Казань, Россия*

E-mail: vnivi@mil.ru

Изучено влияние длительного воздействия радиации на шерстную продуктивность у овец в эксперименте и на следе аварии ЧАЭС. Овцы породы Прекос двух групп 1,5–2-годовалого возраста подвергались длительному, внешнему гамма-облучению в дозах в 2500 раз и 5000 раз превышающих естественный радиационный фон (0,31 и 0,62 Гр). Овцы трех групп — сочетанному облучению на следе аварии ЧАЭС, в т.ч. десять 1,5-годовалых овец из Хойникского района БССР в течение 1,5–2 мес. — воздействию радиоизотопов йода (расчетная доза на щитовидную железу ~ 65 Гр, на тело ~ 0,3 Гр) и последующие 18 мес. воздействию цезия-137 и стронция-90 (~ 0,9 Гр); пять 1,5-годовалых овец из Ветковского района БССР в период йодной опасности ~ 45 Гр и в течение 18 мес. ~ 0,8 Гр; 5 ягнят из Ветковского района, родившиеся через 8 мес. после аварии испытывали в течение 12 мес. излучение изотопов цезия-137 и стронция-90 (0,09 Гр). В качестве интактных животных использованы разновозрастные овцы породы Прекос из Республики Татарстан.

Установлено, что клиническое состояние овец, подвергшихся воздействию радиации в эксперименте, оставалось стабильным и удовлетворительным. Овцы охотно поедали корм, адекватно реагировали на внешние раздражители. Через 12 и 18 мес. после радиационного воздействия у этих животных отмечено превышение массы животных над контрольными аналогами, увеличение настрига шерсти, густоты шерстного волокна от 5,8 до 10,2%, тонины и густоты шерсти — на 3,5–5,5%. Двадцать овец трёх групп из БССР через 20 мес. после радиационной аварии были переведены в условия естественного радиационного фона в ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». Овцы выглядели угнетенными, в основном лежали, были истощены, у них отсутствовал аппетит. Шерсть выглядела тусклой, свалявшейся, редкой по густоте, разнородной по длине. У отдельных животных были зарегистрированы очаговые эпиляции. В течение первого месяца пало 35 % животных, в т.ч. 4 гол. из 1-й группы, 2 гол. — из 2-й и 1 гол. — из 3-й. Регистрировалась панцетопения белого и красного рядов крови. Лимфоидные элементы паренхиматозных органов были обездолены клеточными элементами, в сосудистом русле был отмечен застой крови и лимфы. В кровеносных сосудах была зарегистрирована деструкция — расслоение, пористость, плазматическое пропитывание окружающих тканей, выпадение гемосидерина. В сосудах микроциркуляторного русла — сладжирование эритроцитов с элементами эритродиapedеза. Паренхиматозные органы выглядели дряблыми с точечными и разлитыми петехиями под капсулой. Кровоизлияния были зарегистрированы под кожей. Образцы кожи овец, залитые в целлоидин, выглядели опустошенными волосяными луковичками, истончением потовых желез, разрушением

связи волосяных луковиц с волосом, наличием ости. Излучение шерсти от различных животных варьировало от 2,8 (3-я группа) до 4,2 мР/ч (1-я). Несмотря на то, что стрижка этих животных после аварии не производилась, масса настрига, по сравнению с контрольными аналогами, составляла 38,4 % в 1-й группе. В последующие стрижки в течение 4 лет — не превышал 51,3–74,8%. Густота шерсти в первую стрижку составляла 68,7%, в дальнейшем варьировала от 88,1 до 114,5% от контроля. По тонине шерсть из 64 класса перешла в 80 (стала более истонченной). Шерстные волокна за счет неравномерного ороговения волосяного штапеля были более извитыми, менее прочными на разрыв. Естественная длина была ниже контрольного показателя — от 72,0 до 87,3%. Истинная длина на 4,9–30,2% ниже. Шерстный жир составлял 26,5–44,4% от показателя контрольных аналогов. Овцы 2-й группы в 1-ю стрижку имели настриг 42,8% от контроля и в дальнейшем от 44,9 до 81,4%. Густота от 90,1 до 188,7% от контрольных показателей, шерстный жир — 44,1–58,4% от контрольных показателей. Естественная и истинная длина не достигала уровня контрольных животных на 14,7–21,4%. Овцы 3-й группы в первую стрижку имели настриг — 44,1%, в дальнейшем 53,2–73,5%. Густота составляла 98,3% (1-я стрижка) до 103,2%. Шерстный жир — 44,3–73,1%. Естественная и истинная длина — 71,8–98,3%.

Таким образом, длительное внешнее радиационное воздействие на овец в дозах 0,31 Гр и 0,62 Гр в эксперименте приводило к увеличению как массы животных, так и показателей шерстной продуктивности, хроническое, сочетанное радиационное воздействие на овец на следе аварии ЧАЭС (0,09, 1,15 и 1,20 Гр) — к глубоким деструктивным изменениям в показателях жизнедеятельности организма, включающих хозяйственно-полезные качества овец.

### Литература

1. Тюрин В.Г., Семенов В.Г., Курбангалеев Я.М. [и др.] Использование радиационных технологий в животноводстве. Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2024. № 1 (49). С. 86-93.
2. Авторское свидетельство № 1564754 А1 СССР, МПК А01К 67/02. Способ стимулирования шерстной продуктивности овец : № 4431641/15 : заявл. 18.04.1988 : опубл. 27.04.2000 / В. А. Кишин, Я. М. Курбангалеев, Р. Г. Гизатуллин, К. Т. Ишмухаметов. — EDN QFOBIY.

## РАДИАЦИОННАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ МЯСА, ЗАРАЖЕННОГО ВЕГЕТАТИВНЫМИ И СПОРОВЫМИ ФОРМАМИ МИКРОБОВ

Курбангалеев Я.М., Гайнутдинов Т.Р., Вагин К.Н.,  
Спиридонов Г.Н., Махмутов А.Ф.

*ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности», ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», Научный городок-2,  
Казань, 420075, Республика Татарстан, Россия*

E-mail: vnivi@mail.ru

**Аннотация.** Целью исследований явилось определение оптимальных доз гамма-излучения, необходимых для стерилизации мяса, зараженного вегетативными и споровыми формами микробов при сохранении его ветеринарно-санитарных качеств, биологической полноценности и безопасности. На гамма-установке «Исследователь» для стерилизации мясного фарша от микробов были испытаны дозы от 5,0 до 60,0 кГр с промежутком между дозами в среднем 7,5 кГр. Мощность поглощенной дозы для всех вариантов и продукции составляла 0,6 Гр/с. При облучении мясного фарша, зараженного *E. coli* штаммами KB-1

и ПЛ-6, при дозе гамма-облучения 10 кГр наблюдался умеренный рост бактерий, при дозе 15 кГр — слабый рост, при дозе 20 кГр — полное инактивация штамма микроба. При облучении мясного фарша, зараженного спорами *Cl. perfringens* шт. № 28 (тип А), угнетение роста микроорганизмов наступало при дозе гамма-излучения 20 кГр, при дозе 22,5 кГр — слабый рост, при дозе 25 кГр отмечалось полное отсутствие роста этой культуры. При облучении мясного фарша, зараженного вегетативной формой *Cl. perfringens* штамма № 28 (тип А), в дозе 7,5 кГр, наблюдался умеренный рост культуры, в дозе 10 кГр — слабый рост, в дозе 15 кГр — полное отсутствие роста. Мясо, облученное в дозе 25 кГр, по органолептическим, физико-химическим, бактериологическим показателям соответствовало требованиям государственных стандартов Российской Федерации, Правил ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов к доброкачественному продукту. Результаты исследований свидетельствовали о биологической полноценности и безвредности мяса, облученного в указанной дозе.

**Ключевые слова:** микробы, радиационная стерилизация, гамма-излучение, доза облучения, мясо, безопасность.

Всемирной организацией здравоохранения установлено, что облучение любых продуктов дозой до 10 кГр не представляет токсикологической опасности. Указанное заключение было обосновано на большом экспериментальном материале исследований разных авторов на различных продуктах, включая изучение химических веществ, образованных в результате облучения. Однако было указано, что в некоторых продуктах, в частности, в мясе, свежей рыбе и морепродуктах, облученных в рекомендованных МАГАТЭ дозах, сохраняют жизнеспособность ряд микроорганизмов, что указывает на необходимость ее увеличения до 15...25 кГр [1, 2]. Наши предыдущие исследования по изучению качества, сохранности продукции, подвергнутой лучевой обработке, показали, что радиационная инактивация неспорообразующих микробов происходит преимущественно при дозах гамма-излучения 10–15 кГр, а инактивация спорообразующих начинается от 25 кГр [3, 4].

Проведенными исследованиями установлено, что при облучении мясного фарша, зараженного *E. coli* штаммами KB-1 и ПЛ-6, при дозе гамма-облучения 10 кГр наблюдался умеренный рост, при дозе 15 кГр — слабый рост, при дозе 20 кГр — полное инактивация штамма микроба. При облучении мясного фарша, зараженного спорами *Cl. perfringens* шт. № 28 (тип А), угнетение роста наступало при дозе гамма-излучения 20 кГр, при дозе 22,5 кГр — слабый рост, при дозе 25 кГр отмечалось полное отсутствие роста этой культуры. При облучении мясного фарша, зараженного вегетативной формой *Cl. perfringens* штамма № 28 (тип А) в дозе 7,5 кГр, наблюдался умеренный рост культуры, в дозе 10 кГр — слабый рост, в дозе 15 кГр — полное отсутствие роста.

Мясо, облученное в дозе 25 кГр, по органолептическим, физико-химическим, бактериологическим показателям соответствовало требованиям государственных стандартов Российской Федерации, Правил ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов к доброкачественному продукту.

Результаты оценки биологической полноценности мяса показали, что 28-суточное ежедневное скормливание мяса, облученного в дозе 25 кГр за 1–10 сут до вскармливания, не вызывает каких-либо существенных изменений клинических, гематологических и патологоанатомических показателей организма крысят. Результаты исследований свидетельствуют о биологической полноценности и безвредности мяса, облученного в указанной дозе.

Таким образом, экспериментально обоснованы эффективные дозы гамма-облучения, вызывающие частичную и полную стерилизации мясного фарша, зараженного *E. coli* шт. KB-1 и шт. ПЛ-6, вегетативной и споровой формами *Cl. perfringens* шт. 28 (тип А), и дана оценка ветеринарно-санитарных показателей, биологической полноценности и безопасности мяса, облученного в дозе 25 кГр.

### Литература

1. Козьмин Г. В., Гераськин С. А., Санжарова Н. И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. 400 с.
2. Agricultural products decontamination from natural flora by gamma-irradiation / Y. M. Kurban-galeev, K. N. Vagin, T. R. Gaynutdinov [et al.] // *Linguistica Antverpiensia*. 2021. No 2. — P. 981–992. (09.01.2024).
3. Оценка биологической безопасности облученных кормов и пищевых продуктов / Я. М. Курбангалеев, Т.Р. Гайнутдинов, А.М. Идрисов [и др.] // *Ветеринарный врач*. 2022. № 2. — С. 21–28.
4. Радиационная стерилизация сельскохозяйственной продукции от биологических факторов микробной и грибковой природы / Я. М. Курбангалеев, Т. Р. Гайнутдинов, К. Н. Вагин [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. — 2024. — Т. 38, № 2. — С. 58–66.

## РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ, БИОТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Лютова Ж.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский Государственный Технологический институт  
(технический университет), кафедра радиационной технологии,  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального  
исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия*

E-mail: zhanna.lutova@gmail.com

**Ключевые слова:** радиационные технологии, радиационная обработка, радиационная стойкость.

Радиационные технологии играют ключевую роль в современном научном и технологическом прогрессе. Их применение охватывает широкий спектр отраслей, включая медицинскую химию, биотехнологии, материаловедение, экологию и другие. В условиях постоянного поиска новых решений для повышения эффективности, безопасности и экологической устойчивости, радиационные методы предоставляют уникальные возможности для модификации материалов, стерилизации и создания новых продуктов. Их значение особенно возросло в контексте развития высокотехнологичных отраслей промышленности и здравоохранения.

Одной из наиболее освоенных областей применения радиационных технологий для целей медицинской химии является стерилизация медицинских препаратов и изделий, обеспечивающая высокий уровень деkontаминации в отношении бактерий, вирусов и спор. Этот метод обладает рядом преимуществ перед традиционными технологиями, такими как химическая стерилизация или автоклавирование, включая меньшие временные и финансовые затраты и возможность обработки сложных конфигураций и изделий в товарной упаковке. Еще одним интересным направлением применения радиационных технологий в медицине является радиационный синтез фармсубстанций, протекающий без использования катализаторов и инициаторов, часто осуществляемый при комнатной температуре, что критически важно для термочувствительных сложных молекул, и, в некоторых случаях, являющийся безальтернативным способом проведения реакции.

Важнейшим критерием при применении радиационных методов в области медицинской химии, является оценка радиационной стойкости компонентов лекарственных средств и материалов медицинских изделий, включая сохранность биологической активности,

физико-химические и механические характеристики. Глубокое знание радиационной химии и радиационного материаловедения служит базой для понимания радикальных и молекулярных процессов, протекающих под воздействием ионизирующего излучения, что открывает горизонты для разработки новых лекарственных форм и медицинских изделий.

В биотехнологической сфере радиационные методы успешно применяются для получения новых видов биополимеров и их модификации. Радиационная сшивка и деструкция позволяют изменять физические и химические свойства биополимеров, увеличивая их водорастворимость, влияя на способность к биodeградации и повышая биосовместимость. Радиационно-модифицированные биоматериалы используются в пищевой и косметической промышленности, их применения в области медицины связаны с изготовлением имплантов, систем доставки лекарств и тканевых инертных матриц. Перспективы бионанотехнологий связаны с созданием композитных материалов на основе биополимеров и наночастиц. Эти наноматериалы обладают уникальными механическими, электрическими и оптическими свойствами, что открывает новые горизонты для разработки высокотехнологичных медицинских приборов, сенсоров, а также систем нуклеиновых кислот и белков. Радиационные технологии позволяют эффективно создавать и обрабатывать такие наноматериалы, что значительно расширяет возможности разработки новых биотехнологических решений с уникальными характеристиками.

Область материаловедения также демонстрирует устойчивую динамику роста интереса к разработке и внедрению радиационных технологий синтеза и модификации материалов. Используя ионизирующее излучение можно получать изделия с улучшенными эксплуатационными свойствами такими, как прочность, износостойкость и химическая устойчивость. Создание полимеров, способных разлагаться в природе, является важной задачей современной экологии. Радиационные методы позволяют синтезировать и активировать биodeградируемые полимеры, что способствует развитию экологичных материалов для упаковки, медицины и сельского хозяйства. Кроме того, радиационные технологии имеют перспективы применения в производстве прекурсоров для углеродных волокон, а также наноразмерных добавок и присадок в композиты. Эти материалы находят применение в авиационной, автомобильной промышленности, строительстве и электронике. Возможности радиационной обработки позволяют точно модифицировать структуру и свойства материалов, существенно расширяя их функциональные возможности.

Все вышеописанные направления требуют точного и предсказательного подхода для оптимизации процессов. В этом смысле компьютерное моделирование становится незаменимым инструментом. Модели взаимодействия ионизирующего излучения с веществами позволяют прогнозировать изменение свойств материалов и оптимизировать физический эксперимент. Среди методов моделирования особое место занимают: методы Монте-Карло и молекулярной динамики. Использование этих методов повышает точность разработки новых технологий, снижает затраты на эксперименты и способствует внедрению инновационных решений в практику.

Радиационные технологии обладают огромным потенциалом для развития медицины, биотехнологий и материаловедения. Их применение позволяет создавать новые материалы, повышать эффективность и безопасность лекарственных средств, разрабатывать наноматериалы и экологичные полимеры. Важным аспектом является развитие междисциплинарных исследований и интеграция компьютерных моделей, что обеспечивает предсказание процессов и минимизацию рисков. В перспективе ожидается дальнейшее расширение применения радиационных методов, открывающее новые горизонты для науки и промышленности, внося существенный вклад в повышение качества жизни и охрану окружающей среды. Стандартизация таких методов позволяет обеспечить высокое качество продукции и соответствие нормативным требованиям.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ОЗОННО-РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ И СТЕРИЛИЗАЦИИ ДРЕВНИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Николаева Н.А.<sup>1\*</sup>, Розанов В.В.<sup>2</sup>, Черняев А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», 677013, г. Якутск, ул. Кулаковского, д. 48,

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

E-mail: larsoon696@mail.ru

Древние биологические образцы подвержены деградации под влиянием абиотических и биотических факторов, включая микробиологическое разложение и накопление современных контаминантов [1–2]. В последние годы особое внимание уделяется комбинированным методам консервации, сочетающим физические и химические подходы. В данной работе рассматривается концепция применения комбинированного озонно-радиационного воздействия как потенциально эффективного инструмента для стерилизации и долговременного сохранения древних тканей, костных остатков и других биологических макро- и микрообъектов при минимальном воздействии на их морфологическую и молекулярную целостность. Сохранение древних биологических образцов является ключевой задачей современной археобиологии, палеогенетики и биогеохимии. Озон эффективен против большинства бактерий и плесневых грибов, обладает выраженными окислительными и антимикробными свойствами, а ионизирующее излучение эффективно в инактивации широкого спектра биологических контаминантов [3–5]. Комбинация этих факторов рассматривается как способ обеспечить более полную стерилизацию при потенциально меньшей интенсивности каждого из воздействий по отдельности. Комбинированный подход потенциально позволяет уменьшить интенсивность каждого воздействия, сохраняя при этом стерилизующий эффект. Предварительная химическая деструкция клеточных структур озоном делает микроорганизмы менее устойчивыми к последующему физическому фактору, что теоретически снижает общую нагрузку на древний материал [6]. Такая синергия может быть особенно полезна при работе с: костными образцами, содержащими частично сохранившиеся органические матрицы; древними тканями, фрагментами кожи, шерсти и волос; археологическими находками, подверженными интенсивному микробиологическому разложению; микробными включениями, требующими стерилизации без повреждения структуры окружающего минерала. Комбинированное озонно-радиационное воздействие представляется перспективным направлением в консервации и стерилизации древних биологических образцов. Его эффективность связана с возможной синергией химических и физических механизмов инактивации контаминантов при снижении вредного влияния на эндогенный материал.

### Литература

1. Тихонов А.Н. Мамонт (Серия «Разнообразие животных». Вып. 3). Москва — Санкт-Петербург: Товарищество научных изданий КМК. 2005. 90 с.
2. Głuszewski, Wojciech. Nuclear Techniques for Preservation of Cultural Heritage Artifacts. IAEA Radiation Technology Series. 2011;1(2):41.
3. Шангина О.Р., Нигматуллин Р.Т. Влияние радиационной стерилизации на структуру и свойства биоматериалов. Морфология. 2006;129(3):44.

4. Nikolaeva N.A., Rozanov V.V., Chernyaev A.P., Matveychuk I.V., Makarova M.M. The influence of combined sterilization factors on the structural and functional characteristics of bone implants. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(19):14426.
5. Розанов В.В., Матвейчук И.В., Черняев А.П. Изменения морфомеханических характеристик костных имплантатов при радиационной стерилизации. *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2019;83(10):1435–1440.
6. Nguyen H., Cassady A., Bennett M., et al. Reducing the radiation sterilization dose improves mechanical and biological quality while retaining sterility assurance levels of bone allografts. *Bone*. 2013;57(1):194–200.

## ОБРАБОТКА УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ И ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ С ЦЕЛЬЮ УДАЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОВ

Опруненко А.Ю.<sup>1</sup>, Близнюк У.А.<sup>2,3</sup>, Ипатова В.С.<sup>2</sup>, Никитченко А.Д.<sup>3</sup>,  
Черняев А.П.<sup>2,3</sup>, Ананьева И.А.<sup>1</sup>, Родин И.А.<sup>1,4,5</sup>

<sup>1</sup> Химический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 3

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

<sup>3</sup> Физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

<sup>4</sup> МИРЭА — Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Россия, 119454, Москва, Проспект Вернадского, 78

<sup>5</sup> ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), кафедра эпидемиологии и доказательной медицины, Россия, 119435, Москва, ул. Б. Пироговская, д. 2, стр. 2

E-mail: oprunenko\_anastasiya@mail.ru

Сегодня в мире производится, потребляется и используется большое количество антибиотиков для лечения многих заболеваний, однако это привело к их широкому распространению в окружающей среде. Остатки антибиотиков, выбрасываемые в сточные воды, могут способствовать развитию резистентных к лекарственным препаратам бактерий, что представляет серьезную угрозу для здоровья человека. Антибиотики плохо поддаются биодеградации, поэтому разработка методов очистки от них различных матриц представляется актуальной задачей. Целью данной работы является изучение влияния электронного пучка на ряд антибиотиков разных классов в водных растворах, курином мясе.

Для определения содержания антибиотиков и идентификации их продуктов деградации был применен метод жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией. Было установлено, что с ростом дозы облучения относительное содержание антибиотиков в растворе экспоненциально уменьшалось, а в курице характер уменьшения содержания антибиотиков имел сигмоидальную зависимость. При этом с ростом дозы от 0 до 1 кГр увеличивается содержание большинства продуктов деградации, а с ростом дозы до 3 или 7 кГр (для разных антибиотиков эти значения отличаются) они сами также начинают деградировать. Практически 100%-ное удаление из растворов было достигнуто под воздействием дозы 7 кГр в случае бензилпенициллина и стрептомицина, другие антибиотики также были близки к этому показателю.

Поскольку облучение ускоренными электронами с успехом применяется для стерилизации продуктов питания, следующим этапом исследования было выявление степени

деградации тетрациклина и хлорамфеникола в курином мясе (гомогенизат с водой в соотношении 1/1). В качестве экстракции антибиотиков из куриного мяса был эффективно применен метод жидкостной экстракции (ЖЭ). При анализе экстрактов из куриного мяса на содержание продуктов деградации были найдены два продукта деградации тетрациклина, которые до этого были обнаружены при облучении его водного раствора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 22-63-00075.

### Литература

1. Черняев А.П. // М.: КДУ, 2018.
2. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2008.
3. Effect of electron and x-ray irradiation on microbiological and chemical parameters of chilled turkey / U. Bliznyuk, V. Avdyukhina, P. Borshchegovskaya et al. // *Scientific reports*. — 2022. — Vol. 12, no. 1. — P. 750.

## РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ КАК МЕТОД НАПРАВЛЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

Попугаев А.В.<sup>1,2</sup>, Лютова Ж.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Гатчина*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра Радиационной технологии г. Санкт-Петербург*

E-mail: zhanna.lutova@gmail.com

Радиационная обработка полимеров — это экологически чистая и высокоэффективная технология, позволяющая целенаправленно изменять структуру и свойства материалов. Управляя процессами сшивки, деструкции, сополимеризации мы можем влиять на их термостойкость, механическую прочность и химическую устойчивость. К ключевым преимуществам радиационной обработки относят высокую скорость и глубину обработки, отсутствие необходимости в катализаторах и возможность модификации готовых изделий. Несмотря на относительно небольшую долю на глобальном рынке обработки полимеров, сегмент демонстрирует устойчивый рост, особенно в производстве кабельной изоляции, термоусаживаемых изделий, автомобильных компонентов и медицинской упаковки. Перспективы развития связаны с расширением применения в области аддитивных технологий, полимерных наноматериалов, а также с созданием «умных» полимеров и биосовместимых имплантатов.

Данная работа посвящена изготовлению и модификации полимерного нанокомпозитного материала для хирургических целей. Среди ряда медицинских полимеров одним из наиболее перспективных является полимолочная кислота (ПМК), которая в последнее время рассматривается как замена классическим материалам (титановые сплавы, биокерамика), используемым при челюстно-лицевой реконструкции. Полимолочная кислота — биоразлагаемый полимер природного происхождения. К её преимуществам над классическими материалами можно отнести: биосовместимость [1], способность к остеоинтеграции и невысокую стоимость сырья вследствие возможности получения его из возобновляемых источников. Наряду с этим, у полимолочной кислоты имеются недостатки, которые ограничивают её широкое применение в обозначенной области, а именно: длительный срок биodeградации, возможность возникновения воспалительных реакций при нахождении в организме и низкие механические характеристики по сравнению с классическими



материалами. Одним из вариантов подавления воспалительных реакций в организме при имплантации медицинских изделий является создание нанокомпозитных материалов, обладающих антиоксидантными свойствами.

В рамках данной работы изучалось влияние радиационной обработки электронным пучком на механические характеристики композитных материалов на основе ПМК с антиоксидантными присадками фуллерена C60 [2], графена [3] и галлуазита [4]. На первом этапе методом экструзии были получены филаменты на основе ПМК с присадками в различных концентрациях. Далее, на 3D-принтере были изготовлены экспериментальные образцы, которые подвергли воздействию пучка ускоренных электронов, поглощённые дозы составили диапазон от 0 до 150 кГр, с шагом в 25 кГр.

Исследование влияния ИИ на механические характеристики образцов проводилось согласно ГОСТ Р ИСО 11262–80 [5].

В результате работы выявлено, что облучение дозами до 50 кГр незначительно меняет предел прочности на разрыв исследуемых композитов, однако с увеличением поглощённой дозы до 150 кГр предел прочности дозозависимо уменьшается примерно в три раза для всех исследованных образцов с ~60 МПа до ~20 МПа. Такой эффект радиационной обработки не приводит к критической потере потребительских прочностных характеристик, так как полученные параметры сопоставимы с пределами прочности замещаемой костной ткани (7–20 МПа).

### Литература

1. James M. Anderson, Matthew S. Shive Biodegradation and biocompatibility of PLA and PLGA microspheres// Advanced Drug Delivery Reviews. — 2012. — Т. 64. — С. 72–82.
2. Zeinalov E. B., Koßmehl G. Fullerene C60 as an antioxidant for polymers // Polymer Degradation and Stability. 2001. Vol. 71. No. 2. pp. 197–202.
3. Qiu Y. et al. Antioxidant chemistry of graphene-based materials and its role in oxidation protection technology. // Nanoscale. 2014. Vol. 6. No. 20. pp. 11744–11755.
4. Çankaya N, Ünal A, Korcan SE. Comparison of the antimicrobial and antioxidant properties of halloysite nanotubes and organoclays as green source materials. *Clay Minerals*. 2024;59(1):1–10. doi:10.1180/clm.2024.1
5. ГОСТ Р ИСО 11262–80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» (утв. и ведён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2018 г. № 45-ст).

### ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЯЧМЕНЯ К СВИНЦУ

**Празян А.А., Смирнова А.С., Битаршвили С.В., Лыченкова М.А., Гераськин С.А.**

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» —  
Курчатовский комплекс радиологии и агроэкологии (КК РАЭ), Обнинск, Россия*

E-mail: prazyana@yahoo.com

*Ключевые слова:* гамма-облучение, ячмень, свинец, гормезис, сочетанное действие

Сельскохозяйственные культуры часто подвержены комбинированному воздействию техногенных факторов, включая радиоактивное загрязнение и тяжелые металлы, такие как свинец. Эти стрессоры индуцируют оксидативный стресс, нарушая физиологические процессы. В условиях сочетанного действия эффекты могут проявляться от синергизма до антагонизма. Предпосевное облучение семян в стимулирующих дозах способно повышать устойчивость растений к последующим стрессам за счет активации защитных механизмов

(радиационный гормезис). Однако механизмы взаимодействия  $\gamma$ -облучения и свинцового стресса недостаточно изучены.

Исследование посвящено изучению ответных реакций ячменя (*Hordeum vulgare* L.) на раздельное и сочетанное действие  $\gamma$ -облучения (20 Гр) и свинца (Pb), в виде соли  $Pb(NO_3)_2$ . Цель работы — оценить роль предпосевного облучения в формировании адаптационных механизмов растений к комбинированному стрессу. Анализ проводился на 7-суточных проростках ячменя. Оценивались морфологические параметры, активность антиоксидантных ферментов, содержание малонового диальдегида (МДА) и экспрессия генов, связанных с метаболизмом фитогормонов и детоксикацией тяжёлых металлов.

Воздействие свинца достоверно угнетало рост корней, что согласуется с высокой чувствительностью корневой системы к токсическому действию тяжёлых металлов, однако при сочетанном действии факторов наблюдалось частичное восстановление длины корней по сравнению с воздействием только свинцом, что указывает на протекторное действие предварительного облучения.

В корнях и побегах значимо повышалось содержание МДА, что свидетельствует об индукции выраженного окислительного стресса. При этом предварительное  $\gamma$ -облучение снижало уровень МДА в побегах по сравнению с контролем, а в условиях сочетанного действия частично смягчало действие свинца. Таким образом, можно предположить антагонистический тип взаимодействия факторов по отношению к МДА в побегах.

Активность ключевых антиоксидантных ферментов изменялась тканеспецифично. Активность каталазы наблюдалась преимущественно в корнях под действием свинца, тогда как в побегах оставалась на уровне контроля. Активность аскорбатпероксидазы достоверно повышалась в побегах при всех типах воздействия, достигая максимума после  $\gamma$ -облучения. При сочетанном действии её активность была ниже, чем при раздельном. Гваяколовая пероксидаза не проявляла значимых изменений.

Анализ экспрессии генов показал, что оба фактора активируют биосинтез ауксинов. В побегах и корнях повышалась экспрессия *HvAAO1* (биосинтез *de novo*) и *HvILR1* (гидролиз конъюгатов). Экспрессия гена раннего ответа на ауксин *HvIAA1* возрастала в корнях при  $\gamma$ -облучении и в побегах при действии свинца. Биосинтез цитокининов (*HvLOG3*) активировался в побегах, но подавлялся в корнях. Свинец и  $\gamma$ -облучение усиливали потенциал биосинтеза абсцизовой кислоты (АБК) через активацию *HvNCED1*. При этом экспрессия гена деградации АБК (*HvABA8'OH-2*) возрастала только в корнях при сочетанном действии, что может способствовать локальной регуляции уровня АБК. Ген детоксикации тяжёлых металлов *HvPCS* активировался в побегах при раздельном действии и в корнях — при действии свинца. Повышалась экспрессия транспортеров *HvHMT3*, *HvHMT4* и *AtPDR8-like*. Экспрессия *GSTT3-like* увеличивалась в побегах при всех воздействиях и в корнях — после  $\gamma$ -облучения.

Таким образом, предварительное  $\gamma$ -облучение в стимулирующей дозе модулирует ответ ячменя на свинцовый стресс, проявляясь в антагонистическом взаимодействии, в виде активации антиоксидантной системы и репарационных механизмов, частично компенсируя токсическое действие свинца.

## АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В ЗАРОДЫШАХ ЯЧМЕНЯ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В ОТВЕТ РАСТЕНИЙ НА РАЗДЕЛЬНОЕ И СОЧЕТАННОЕ ДЕЙСТВИЕ $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ И СВИНЦА

Смирнова А.С.<sup>1</sup>, Празян А.А.<sup>1</sup>, Блинова Я.А.<sup>1</sup>, Шубина С.И.<sup>1</sup>,  
Горбатова И.В.<sup>1</sup>, Минкенова К.С.<sup>2</sup>, Гераськин С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Курчатовский комплекс радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (КК РАЭ), город Обнинск, Россия

<sup>2</sup>Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,  
г. Курчатова, Казахстан

E-mail: sas.smirnova@mail.ru

**Ключевые слова:** ячмень,  $\gamma$ -облучение, свинец, дифференциальная экспрессия генов.

Рост антропогенной нагрузки на окружающую среду приводит к возрастающему влиянию разных факторов на жизненный цикл растений, а совместное влияние этих факторов представляет особый интерес. При сочетании низких доз и концентраций тяжелых металлов синергические и антагонистические эффекты наблюдаются с повышенной частотой [1]. В данной работе рассмотрено влияние раздельного и сочетанного действия  $\gamma$ -облучения и свинца на экспрессию генов в зародышах ячменя, потенциально вовлеченных в ответ растений действие данных факторов.

Объектом исследования были семена ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Нур. Всего использовалось три экспериментальных варианта. В первом варианте семена облучали дозой 20 Гр (мощность дозы 60 Гр/ч) на установке ГУР-120 ( $^{60}\text{Co}$ ) (НИЦ «Курчатовский институт» — КК РАЭ, г. Обнинск) и проращивали в дистиллированной воде. Данная доза является стимулирующей для сорта Нур [2]. Во втором варианте необлученные семена проращивали в растворе  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  с концентрацией 2 мг/мл свинца (угнетает развитие проростков, но не приводит к гибели [3]). В третьем варианте облученные семена проращивали в воде с добавлением соли свинца. Контрольными считались необлученные семена, проросшие в дистиллированной воде.

Отбор образцов зародышей семян производили через 24, 48 и 72 часа после посадки и фиксировали в жидком азоте. Выделение тотальной РНК производили при помощи набора ExtractRNA (Евроген, Россия). 1 мкл РНК подвергали обработке ДНКазой I при помощи набора Dnase I, Rnase-free (1 U/ $\mu\text{L}$ ) (Thermo Scientific, США). Комплементарную ДНК синтезировали с помощью набора MMLV RT kit (Евроген, Россия). Далее для определения экспрессии генов была проведена ПЦР в реальном времени на приборе ДТ-96 (ДНК-Технология, Россия). В качестве референсного гена использовали ген фактора рибозилирования АДФ *HV $\alpha$ ADP*. Расчеты кратности изменения экспрессии были сделаны с использованием метода  $\Delta\Delta\text{Cp}$ , при этом биологически значимыми считались изменения с  $\log_2\text{FC} \geq 1$ .

На 24 час после начала проращивания в зародыше наблюдалось преимущественно подавление генов детоксикации — *PCS* ( $\log_2\text{FC} = -3,18$ ), *PDR8-like* ( $\log_2\text{FC} = -2,4$ ), *LAC* ( $\log_2\text{FC} = -2,85$ ), что может отражать перераспределение транскрипционной активности с целью ускорения роста ответ на стресс в условиях ограниченных энергетических ресурсов. К 48 часам в ответ на гамма-облучение в зародыше наблюдается индукция генов *HMT4* ( $\log_2\text{FC} = +2,13$ ), *LAC* ( $\log_2\text{FC} = +1,05$ ) и *GSTT3-like* ( $\log_2\text{FC} = +1,3$ ), происходит запуск антиоксидантной и детоксикационной защиты в ответ на действие ионизирующего излучения. На 72 час экспрессия генов *PCS* ( $\log_2\text{FC} = +6,03$ ), *HMT4* ( $\log_2\text{FC} = +4,2$ ), *PDR8-like* ( $\log_2\text{FC} = +6,02$ ) сильно возрастает. Это указывает на позднее, но крайне интенсивное включение механизмов хелатирования и выведения токсинов, которое, вероятно,

запускается после накопления критической концентрации свинца в клетках и активации соответствующих транскрипционных факторов. Также наблюдалась сильная индукция гена AOS ( $\log_2FC = +8.31$ ), что свидетельствует о полном запуске сигнального пути жасмоновой кислоты, играющего центральную роль в защите от повреждений и биотических/абиотических стрессов. Комбинированное воздействие не усиливает, а часто ослабляет ответ на свинец, например, экспрессия *PCS* и *HMT4* возвращаются к стандартному уровню, что может указывать на интерференцию сигнальных путей, вызванных разными типами стресса. Таким образом, к 72 часам формируется комплексная защитная система, охватывающая как прямую детоксикацию, так и регуляцию стресс-ответа.

### Литература

1. Geras'kin S.A., Kim J.K., Dikarev V.G., Oudalova A.A., Dikareva N.S., Spirin Ye.V. Cytogenetic effects of combined radioactive ( $^{137}\text{Cs}$ ) and chemical (Cd, Pb and 2,4-D herbicide) contamination on spring barley intercalary meristem cells // *Mutation Res.* 2005. 586: 147–159.
2. Geras'kin S., Churyukin R., Volkova P. Radiation exposure of barley seeds can modify the early stages of plants' development // *Journal of Environmental Radioactivity.* 2017. 177: 71–83
3. Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С., Гераськин С.А. Внутривидовой полиморфизм ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) по устойчивости к действию свинца // *Сельскохозяйственная биология*, 2014, № 5, С. 525–537.

### МОДЕЛЬНОЕ РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Хуцистова А.О.<sup>1,2\*</sup>, Розанов В.В.<sup>1,3,4</sup>, Матвейчук И.В.<sup>3</sup>,  
Черняев А.П.<sup>1,2,4</sup>, Николаева Н.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына,  
Москва, Россия

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных  
и ароматических растений, Москва, Россия

<sup>4</sup> Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия

\*E-mail: khutcistova.ao17@physics.msu.ru

Радиационная стерилизация обеспечивает безопасность костных имплантатов при их использовании в ортопедической практике, уничтожая патогены ионизирующим излучением. При этом критически важно оптимизировать дозу, так как её превышение вызывает структурные изменения и деградацию функциональных свойств имплантатов. Современные требования стимулируют разработку методов, гарантирующих эффективность при сохранении характеристик материала. Одним из инструментов для прогнозирования результатов стерилизации является компьютерное моделирование [3].

Настоящее исследование посвящено анализу пространственного распределения поглощенной дозы в кортикальной костной ткани при комбинированном физико-химическом воздействии и представляет значительный практический интерес для оптимизации режимов стерилизации костных имплантатов. Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения эффективной стерилизации при минимальном радиационном повреждении структуры костной ткани. Методологической основой работы является компьютерное

моделирование методом Монте-Карло в программной среде GEANT4, позволяющее проанализировать процессы взаимодействия ионизирующего излучения с биологическими тканями.

Объектом моделирования служит образец кортикальной кости размером  $6 \times 8 \times 10$  мм. Особенностью модели является учет поверхностного слоя толщиной несколько миллиметров, модифицированного предварительным озонированием. В исследовании рассматривается комплексное воздействие различных видов ионизирующего излучения: электронов и тормозного излучения с энергиями от 0,5 до 10 МэВ, а также гамма-излучения от источника  $\text{Co}^{60}$ . Такой подход позволяет провести сравнительный анализ особенностей взаимодействия различных типов излучения с костной тканью.

Теоретической основой распределения дозы в многослойной среде являются процессы взаимодействия заряженных частиц и фотонов с веществом. Для электронных пучков критическое значение имеют процессы ионизации и радиационных потерь. В случае фотонного излучения основными механизмами взаимодействия являются комптоновское рассеяние и фотоэффект.

При этом предварительное озонирование поверхностного слоя кости приводит к значительным изменениям в пространственном распределении поглощенной дозы в связи с наличием кислородного эффекта. Так, для электронных пучков характерно смещение положения максимальной дозы вглубь образца, связанное с изменением плотности и эффективного атомного номера в модифицированном слое. Для фотонного излучения осуществляется модификация глубинного распределения дозы, обусловленная изменениями коэффициента ослабления и энергопереноса.

Полученные данные позволяют заключить, что предварительное озонирование костных имплантатов создает условия для формирования оптимизированного дозного распределения при последующем радиационном воздействии. Установленные закономерности изменения пространственного распределения дозы открывают перспективы для разработки новых режимов стерилизации, позволяющих снизить интегральную дозовую нагрузку на имплантат при обеспечении требуемого бактерицидного эффекта.

### Литература

1. Розанов, В.В. Современное состояние и перспективные инновационные направления развития способов стерилизации биоимплантатов / В.В. Розанов, И.В. Матвейчук // Альманах клинической медицины. — 2019. — № 47(7). — С. 634–646.
2. Singh, R. Radiation sterilization of tissue allografts: A review / R. Singh, D. Singh, A. Singh // World J. Radiol., 2016; 8(4). — P. 355–369.
3. Розанов, В.В. Модельный анализ распределения дозы в костном имплантате в процессе радиационной стерилизации / В.В. Розанов, А.О. Хуцистова, И.В. Матвейчук, А.П. Черняев // Известия Российской академии наук. Серия физическая. — Т. 86. — № 8. — 2022. — С.1099–1103. — DOI: 10.31857/S0367676522080154.

## ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО И ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ

Чуликова Н.С.<sup>1</sup>, Малюга А.А.<sup>1</sup>, Енина Н.Н.<sup>1</sup>, Голощанов С.А.<sup>1</sup>,  
Близнюк У.А.<sup>2,3</sup>, Родин И.А.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,  
Краснообск, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт имени Д.В. Скобельцына МГУ  
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>4</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия

<sup>5</sup>МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия

E-mail: natalya-chulikova@yandex.ru

**Ключевые слова:** радиационная обработка, картофель, рентгеновское излучение, ускоренные электроны, развитие болезни, продуктивность.

Радиационная обработка сельскохозяйственных культур обладает комплексным действием, позволяя как простимулировать ростовые процессы в растениях, так и добиться обеззараживания семенного материала или же повышения его устойчивости к широко распространенным заболеваниям. Целью данной работы было изучения влияния предпосадочной радиационной обработки на качество и продуктивность картофеля.

В представленном исследовании клубни картофеля сорта Фиолетовый прошли облучение двумя типами ионизирующего излучения: низкоэнергетическими ускоренными электронами с максимальной энергией 1 МэВ на ускорителе электронов непрерывного действия УЭЛР-1-25-Т-001 (НИИЯФ МГУ, Россия) со средней мощностью пучка 25 кВт и рентгеновским излучением с максимальной энергией фотонов 80 кэВ на аппарате РАП-100 (ФМЦ им. Бурназяна, Москва) с рентгеновской трубкой 1BPV23-100 и анодом из молибдена. Дозы обработки составили 5, 10, 15, 20, 25 и 30 Гр.

Посадка, мониторинг фенологических фаз и фитосанитарного состояния посадок картофеля проводились в 2023–2025 годах в почвенно-климатических условиях, типичных для лесостепной зоны Западной Сибири. Почвенный покров опытного поля был представлен типичным для зоны выщелоченным (рН = 6.7–6.8) среднесуглинистым черноземом.

Трехлетний полевой эксперимент показал, выявлено, что предпосадочная радиационная обработка картофеля сорта Фиолетовый двумя типами ионизирующего излучения оказывает влияние на продуктивность и фитосанитарное состояние культуры.

Рентгеновское облучение в дозах 5, 10 и 20 Гр позволяло снизить распространённость заболевания ризоктониоз (вызываемое грибом *R. solani*) на стеблях растений в фазу полных всходов на 4,3–11,2%, а обработка в дозах 5, 15, 20 и 30 Гр снижало данный показатель в фазе цветения на 1,1–12,2%.

Низкоэнергетические ускоренные электроны во всех изучаемых дозах (кроме 5 Гр, где значение было практически на уровне контроля) существенно снижали распространённость ризоктониоза на стеблях в фазу полных всходов на 6,2–17,8%, а в фазу цветения — на 6,9–26,7%.

Выход здорового урожая (в отношении повреждения грибом *R. solani*) в сравнении с контрольными значениями, эффективно увеличивала предпосадочная обработка рентгеновским излучением в дозах 15, 20 и 25 Гр на 9,9–16%, а предпосадочная обработка клубней

ускоренными электронами в диапазоне доз от 5 до 30 Гр снижала данный показатель на 2,5–28,4%.

Продуктивность картофеля существенно увеличивала обработка ускоренными электронами в дозах 15, 20 и 30 Гр на 15,1, 3,4 и 21,2% соответственно. В тоже время обработка рентгеновским излучением в диапазоне доз 5–30 Гр не увеличивала данный показатель.

Полученные результаты говорят об эффективности предпосадочной радиационной обработки клубней картофеля, как способа снижения развития фитопатологического гриба *R. solani* на стеблях и клубнях культуры и повышения ее качества.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-63-00075.

### **ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА УСКОРИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОНОВ**

**Шимко П.А.<sup>1</sup>, Близнюк У.А.<sup>1,2</sup>, Золотов С.А.<sup>1</sup>,  
Лазенкова И.В.<sup>3</sup>, Черняев А.П.<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия*

*<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,  
Москва, Россия*

*<sup>3</sup>ООО «АКЦЕНТР ГРУПП», Дубна, Россия*

E-mail: pashashimko0306@gmail.com

Методы стерилизации медицинских изделий с использованием ионизирующего излучения сегодня занимают важное место на мировом рынке. По данным МАГАТЭ, гамма-установки и электронные ускорители активно применяются для обработки медицинской продукции, обеспечивая высокую надёжность и воспроизводимость процесса [1].

На мировом уровне применение радиационной обработки охватывает широкий ассортимент изделий: от медицинских инструментов и расходных материалов до упаковочных компонентов и фармацевтической продукции. Однако эффективное и безопасное использование этого метода требует точного контроля распределения дозы облучения и соответствия установленным стандартам, таким как ГОСТ ISO 11137 [2].

Целью работы является построение карты распределения дозы в медицинских салфетках и экспериментальная валидация выбранного режима радиационной стерилизации в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 11137. Эксперименты проводились на базе Центра радиационной обработки «Axenter» (г. Дубна), оснащённого линейным ускорителем электронов Mevex MB 10-30 SC900 (УЭЛР-10-20) с максимальной энергией пучка 10 МэВ.

Объектом исследования являются стерильные влажные салфетки для ухода за веками «Блефаросалфетка» по ТУ 9398-021-76063983-2009, упакованные в индивидуальные пакеты, сгруппированные по 20 шт. в картонные упаковки и уложенные по 45 упаковок в транспортный короб из гофрокартона размером 580×370×130 мм, массой  $(5,1 \pm 0,5)$  кг, с объёмной плотностью 0,175–0,189 г/см<sup>3</sup> и поверхностной плотностью 2,283–2,469 г/см<sup>2</sup>. Требовалось обработать продукцию так, чтобы минимальная доза была не меньше стерилизующей — 14,8 кГр, — а максимальная не больше предельно допустимой — 50 кГр.

Радиационная обработка медицинских изделий выполнялась на электронном ускорителе с энергией электронов 9,75 МэВ. Ширина развертки пучка составляла 60×36 см,

частота импульсов — 472 Гц, ток пучка — 2,0–2,06 мА, ток клистрона — 78,8 А. Облучение проводилось с двух сторон при скорости конвейера 1,7 и 1,9 м/мин. Поглощенная доза измерялась с помощью радиохромных пленок СОПД(Ф)Р 5/50 (ВНИИФТРИ) [3], которые размещались на поверхности и дне каждой индивидуальной упаковки. Измерение оптической плотности пленок после облучения проводилось на спектрофотометре ПЭ-5400УФ.

На рис. 1, 2 приведены соответственно профили дозы на поверхности короба и на его дне. Согласно рисункам, доза однородно распределена в слоях короба, что является хорошим показателем проведенной обработки.

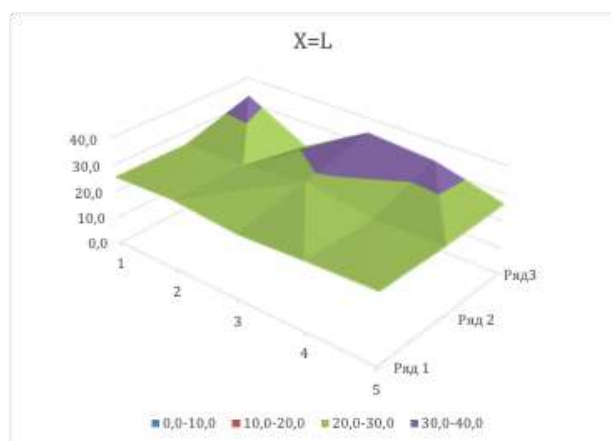


Рис. 1. Профиль дозы на поверхности короба.

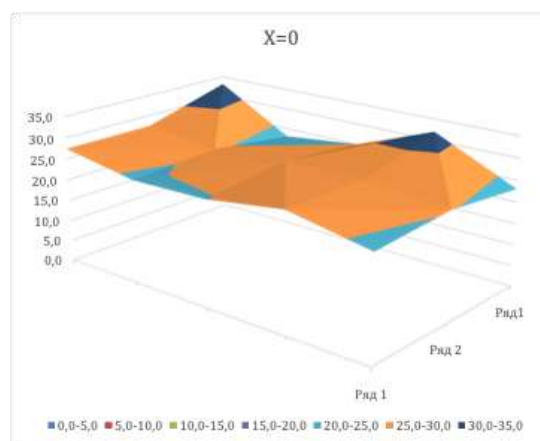


Рис. 2. Профиль дозы на дне короба.

В таблицах 1, 2 приведены результаты экспериментов.

Таблица 1

**Дозовые характеристики обработки при скорости конвейера 1.7 м/мин**

Значение	Обр. 1
Минимальная поглощенная доза $D_{\min}$	$16,3 \pm 0,86$ кГр
Максимальная поглощенная доза $D_{\max}$	$33,0 \pm 0,86$ кГр
Коэффициенты пропорциональности $K_{\min}$ ( $D_{\min}/D_{\text{контр}}$ )	$0,81 \pm 0,114$ кГр
$K_{\max}$ ( $D_{\max}/D_{\text{контр}}$ )	$1,6 \pm 0,218$
Коэффициент неравномерности распределения поглощенной дозы по объему короба с продукцией R ( $D_{\max} / D_{\min}$ )	$2,0 \pm 0,310$

Таблица 2

**Дозовые характеристики обработки при скорости конвейера 1.9 м/мин**

Значение	Обр. 1
Минимальная поглощенная доза $D_{\min}$	$20,7 \pm 0,86$ кГр
Максимальная поглощенная доза $D_{\max}$	$34,7 \pm 0,86$ кГр
Коэффициенты пропорциональности $K_{\min}$ ( $D_{\min}/D_{\text{контр}}$ )	$0,86 \pm 0,093$ кГр
$K_{\max}$ ( $D_{\max}/D_{\text{контр}}$ )	$1,4 \pm 0,147$
Коэффициент неравномерности распределения поглощенной дозы по объему короба с продукцией R ( $D_{\max}/D_{\min}$ )	$1,7 \pm 0,251$

Из таблиц видно, что при скорости конвейера 1.7 м/мин доставленная доза нам не подходит по таким-то причинам. Доза при скорости конвейера 1.9 м/мин ок, так обрабатывать можно. Но из экономических соображений выгоднее выбрать режим обработки 1.75 м/мин: он обеспечит стерилизацию, но при этом будет дешевле на 7 %.

Исследование стало возможным благодаря финансовой поддержке Фонда поддержки молодых учёных имени Геннадия Комиссарова, оказанной в рамках выигранного конкурса научных стажировок «Молодые учёные 3.0».



### Литература

1. Chmielewski A.G., Berejka A.J. Центры радиационной стерилизации в мире. — Вена: Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), 2008. — ISBN 978-92-0-111007-7.
2. ГОСТ ISO 11137-2015. Стерилизация медицинских изделий. Облучением электронными пучками или  $\gamma$ -излучением. — М.: Стандартинформ, 2016.
3. СО ПД(Ф)Р-5/50. Стандартный образец поглощённой дозы фотонного и электронного излучений / ВНИИФТРИ. — Менделеево, РФ.

## ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЛАКТОФЕРРИНА И КОМПОЗИЦИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ МЕТОДОМ ИММУНОФЕРМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Шубина А.В.<sup>1,2</sup>, Лютова Ж.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный Технологический институт (технический университет), кафедра радиационной технологии, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия

E-mail: zhanna.lutova@gmail.com

**Ключевые слова:** лактоферрин, радиационная обработка, радиационная стойкость, иммуноферментный анализ.

Поддержание стабильной концентрации железа играет ключевую роль в регуляции гомеостаза и метаболизма в организме человека. Это связано с тем, что железо является кофактором множества ферментов, участвующих в клеточном дыхании и метаболических процессах [1]. Кроме того, оно необходимо для функционирования белков, ответственных за выработку энергии, а также для синтеза ДНК и РНК.

Избыток железа в организме способствует образованию свободных радикалов, что приводит к окислению белков и повреждению ДНК, а также вызывает ряд других опасных для здоровья последствий. Эти процессы могут способствовать развитию сердечно-сосудистых патологий, онкологических заболеваний и ряда других серьезных состояний. В то же время недостаток железа приводит к анемии и гипоксии, что может вызвать заболевания дыхательной системы и сердечно-сосудистые расстройства. Для борьбы с заболеваниями, вызванными дисбалансом железа, часто назначают прием препаратов железа, обладающих множеством негативных побочных эффектов.

Лактоферрин, представитель семейства трансферринов и железосвязывающий гликопротеин, содержащийся в различных секреторных жидкостях, является перспективным компонентом функционального питания и фармкомпозиций для регулирования уровня железа в организме. Белок обладает множеством биологических функций, включая противомикробную, противовоспалительную и иммуномодулирующую активность и сильными хелатирующими свойствами в отношении железа [2].

Для использования лактоферрина в качестве компонента фармацевтических продуктов, необходимо подобрать оптимальный метод стерилизации. Так как при термической обработке он денатурирует и теряет свои терапевтические свойства, перспективным методом является использование радиационной стерилизации. В связи с этим целью данного исследования стала оценка устойчивости лактоферрина к ионизирующему излучению.

Леофилизат человеческого рекомбинантного лактоферрина подвергался облучению на линейном импульсном электронном ускорителе дозами 15 и 25 кГр. Для проведения качественного анализа были использованы спектроскопические методы: ИК-Фурье-

спектроскопия с преобразованием Фурье, УФ-спектроскопия видимой области и масс-спектрометрия. Количественный анализ проводился методом иммуноферментного анализа.

Результаты спектроскопических методов анализа показали сохранение молекулярной структуры белка. Методом масс-спектрометрии как для необлученных, так и для облученных образцов была установлена молекулярная масса белка — около 82 кДа. Метод ИФА продемонстрировал снижение концентрации лактоферрина в облученных порошках, которое, однако не превысило 40% для дозы 25 кГр. Полученные данные свидетельствуют о возможности применения электронно-лучевой обработки для производства композиций на основе лактоферрина.

### Литература

1. Obeagu EI. Iron homeostasis and health: understanding its role beyond blood health — a narrative review// *Ann Med Surg (Lond)*. — 2025. — Т. 87. — №6 — С. 3362–3371.
2. Aleshina G.M. Lactoferrin — an endogenous regulator of the protective functions of the organism // *Medical academic journal*. — 2019. — Vol. 19. — N. 1. — P. 35–44.



## **Секция 5**

# **Неионизирующее излучение в медицине**

10 декабря 2025. Зал-трансформер коворкинга 1 учебного корпуса МГУ (Ленинские горы, 1, стр. 51)

**Председатели секции:** д.ф.-м.н. Е.А. Ширшин, м.н.с. А.А. Рубекина

## ПРИМЕНЕНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ГИПОФИЗА В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ДЛЯ НАВИГАЦИИ В НЕЙРОХИРУРГИИ

Алибаева В.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Физический факультет МГУ, кафедра общей физики и волновых процессов,  
Москва, Россия*

E-mail: alibaeva.vm20@physics.msu.ru

Аденомы гипофиза составляют около 15% всех первичных опухолей головного мозга и занимают третье место по частоте среди внутричерепных новообразований [1]. Основным методом лечения клинически значимых и гормонально активных аденом остаётся эндоскопическая эндоназальная резекция, однако тотальное удаление опухоли достигается лишь примерно в 80% случаев, а остаточная ткань аденомы ассоциирована с высоким риском рецидива [2]. Ключевая причина — сложность точного определения границы между опухолью и нормальной тканью аденогипофиза интраоперационно, особенно при фиброзных и инфильтративно растущих опухолях [3]. На фоне ограничений методов с экзогенными красителями (ICG, 5-ALA, OTL38 и др.) особый интерес представляет автофлуоресценция эндокринных органов в ближней ИК области: показано, что паращитовидные железы и надпочечники обладают устойчивым NIR-автофлуоресцентным сигналом, достаточным для навигации без введения меток [4, 5]. Это позволяет предположить, что и гипофиз как центральная эндокринная железа может иметь собственные оптические маркеры для интраоперационной визуализации.

В данной работе на конфокальном флуоресцентном микроскопе получен спектральный материал более чем по 60 случаям: нормальная ткань аденогипофиза и различные типы аденом. Показано, что нормальная ткань и опухоль отличаются не только по морфологии, но и имеют различные спектральные характеристики флуоресцентного сигнала, что обеспечивает контраст «опухоль–норма» в диапазоне длин волн от 400 до 800 нм. Интраоперационно в серии порядка 20 эндоскопических трансфеноидальных операций зарегистрирована стабильная автофлуоресценция гипофиза в ближнем ИК диапазоне, значительно превосходящая по интенсивности сигнал от окружающих тканей и аденомы. Полученный контраст железы и окружающих тканей в реальном времени демонстрирует принципиальную возможность навигации по автофлуоресценции без введения экзогенных меток.

### Литература

1. Tsukamoto T., Miki Y. Imaging of pituitary tumors: an update with the 5th WHO Classifications-part 2. Neoplasms other than PitNET and tumor-mimicking lesions //Japanese Journal of Radiology. — 2023. — Т. 41. — №. 8. — С. 808-829. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2008.
2. Cappabianca P., Solari D. The endoscopic endonasal approach for the treatment of recurrent or residual pituitary adenomas: widening what to see expands what to do? //World Neurosurgery. — 2012. — Т. 77. — №. 3-4. — С. 455-456.
3. Bongetta D. et al. Fluorophores use in pituitary surgery: a pharmacokinetics and pharmacodynamics appraisal //Brain Sciences. — 2021. — Т. 11. — №. 5. — С. 565.
4. Tseregroditseva P. et al. Parathyroid glands viability assessment and identification during surgery with multimodal diffuse reflectance spectroscopy and NIR autofluorescence probe //Scientific Reports. — 2025. — Т. 15. — №. 1. — С. 22097.
5. Rajan N. et al. Adrenal near-infrared autofluorescence //Journal of the Endocrine Society. — 2022. — Т. 6. — №. 10. — С. bvac126.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ  
С ДИАГНОЗОМ РАК ШЕЙКИ МАТКИ И РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ  
МЕТОДАМИ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ  
И ИММУНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА**

**Крылова Т.А.<sup>1</sup>, Мамаева С.Н.<sup>1</sup>, Алексеев В.А.<sup>2</sup>, Максимов Г.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Физико-технический институт, Северо-Восточный федеральный университет  
имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия*

<sup>2</sup>*Якутский научный центр комплексных медицинских проблем, Якутск, Россия*

<sup>3</sup>*Биологический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова*

E-mail: tanyakryl9898@mail.ru

Несмотря на существенный прогресс в области диагностики и терапии, рак шейки матки (РШМ) и рак молочной железы (РМЖ) остаются наиболее распространёнными онкологическими заболеваниями у женщин. Внедрение программ раннего скрининга и разработка эффективных лечебных подходов способствовали снижению смертности, однако распространённость этих патологий остаётся высокой. Установлено, что ведущим фактором развития РШМ является инфицирование вирусом папилломы человека (ВПЧ), тогда как этиология РМЖ остаётся менее определённой. Предполагается, что ВПЧ 16 и 18 типов могут быть сопричастны и к развитию РМЖ [1].

Ранее с использованием растровой электронной микроскопии (РЭМ) нами была исследована морфология эритроцитов венозной крови пациентов с различными заболеваниями [2, 3]. На полученных изображениях были обнаружены наноразмерные структуры (НРС) на поверхности эритроцитов, размеры которых сопоставимы с вирусными частицами, что позволило выдвинуть гипотезу об их вирусной природе. В частности, у пациенток с РШМ предполагалось, что обнаруженные НРС могут представлять собой частицы ВПЧ 16 и 18 типов. Для проверки этой гипотезы требовалось уточнить природу обнаруженных структур, что обусловило необходимость дальнейшего исследования роли эритроцитов в развитии РШМ и РМЖ.

В настоящей работе были применены методы РЭМ и иммунофлуоресцентного анализа (МФА) образцов крови пациенток с РШМ. Для РЭМ использовались мазки венозной крови на сухих предметных стёклах. А для МФА был разработан протокол пробоподготовки эритроцитарной массы, для определения наличия НРС на поверхности клеточной мембраны. Совместное использование двух методов позволило подтвердить вирусную природу НРС: установлено, что на цитоплазматической мембране эритроцитов локализуются частицы ВПЧ 16 и 18 типов. Аналогичные методические подходы были применены при исследовании крови пациенток с РМЖ, что позволило оценить наличие сходных структур и при этом заболевании.

Полученные данные указывают на то, что определённые онкогенные вирусы, циркулирующие в крови, способны связываться с поверхностью эритроцитов и, вероятно, участвуют в развитии РШМ и РМЖ, а также могут влиять на риск рецидивирования и метастазирования. Кроме того, впервые была проведена количественная оценка эритроцитов, на поверхности которых обнаруживаются НРС, как при использовании РЭМ, так и при применении МФА. Результаты исследования могут быть использованы для анализа эффективности лучевой терапии с учётом концентрации эритроцитов, несущих НРС.

## Литература

1. Вирус-ассоциированный рак молочной железы (обзор и мета-анализ) / М. К. Ибрагимова, М. М. Цыганов, Л. Ф. Писарева, Н. В. Литвяков // Вопросы онкологии. — 2018. — Т. 64, № 1. — С. 15–27.
2. Исследование эритроцитов крови детей с заболеваниями почек с синдромом гематурии с использованием растровой электронной и атомно-силовой микроскопии / С. Н. Мамаева, Г. В. Максимов, С. Р. Антонов [и др.] // Медицинская физика. — 2017. — № 1(73). — С. 58–63.
3. Mamaeva S. et al. Using scanning electron microscopy and atomic force microscopy to study the formation of nanoparticles on red blood cell surface in cervical cancer patients //International Journal of Biomedicine. — 2020. — Т. 10. — №. 1. — С. 70–75.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ СЫВОРОТКИ КРОВИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Нургалиева П.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ, кафедра квантовой электроники, Москва, Россия

E-mail:nurgalieva.pk17@physics.msu.ru

Рак предстательной железы (РПЖ) занимает второе место по встречаемости у мужчин в мире [1]. В настоящий момент протокол диагностики включает в себя анализ крови на ПСА (простат-специфический антиген) и различные методики визуализации — МРТ (магнитно-резонансная томография), УЗИ (ультразвуковое исследование). ПСА — высокочувствительный, но низкоспецифичный маркер. ПСА является органоспецифическим маркером, он чувствителен к любым изменениям ткани предстательной железы, в том числе и к доброкачественной гиперплазии [2]. Специфичность МРТ для диагностики РПЖ составляет 78% [3]. Растущая заболеваемость РПЖ, а также частая гипердиагностика низкоагрессивных опухолей и недостаточное выявление высокоагрессивных форм рака предстательной железы повышают актуальность создания новой методики диагностики РПЖ, позволяющей повысить точность выявления заболевания.



Рис. 1. Включение флуоресцентной спектроскопии сыворотки крови в протокол диагностики рака предстательной железы: МРТ-изображение получено из The Cancer Imaging Archive [4]. Гистологические изображения получены из датасета [5]

В данной работе была исследована возможность применения флуоресцентной спектроскопии сыворотки крови для повышения точности диагностики РПЖ. Был исследован флуоресцентный сигнал образцов сыворотки крови пациентов с известными результатами гистологического анализа после биопсии, а также с результатами МРТ и с известным уровнем ПСА в крови. Были обнаружены статистически значимые различия во флуоресцентном сигнале сыворотки крови для пациентов с РПЖ относительно контрольной группы. Добавление маркера на основе флуоресцентной спектроскопии сыворотки крови в классифи-

кационную модель на основе логистической регрессии повысило точность идентификации пациентов с раком предстательной железы по сравнению с существующими методами — МРТ и анализом крови на уровень ПСА. Данные результаты подчеркивают возможность применения флуоресцентной спектроскопии сыворотки крови в качестве дополнительного метода диагностики рака предстательной железы.

### Литература

1. Bray F. et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries // *CA: a cancer journal for clinicians*. — 2024. — Т. 74. — №. 3. — С. 229–263.
2. Merriel S. W. D. et al. Systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of prostate-specific antigen (PSA) for the detection of prostate cancer in symptomatic patients // *BMC medicine*. — 2022. — Т. 20. — №. 1. — С. 54.
3. Oerther B. et al. Living systematic review and meta-analysis of the prostate MRI diagnostic test with Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS) assessment for the detection of prostate cancer: study protocol // *BMJ open*. — 2022. — Т. 12. — №. 10. — С. e066327.
4. Choyke, B. Turkbey, P. Pinto, M. Merino, B. Wood, Data from prostate-mri, *Cancer Imaging Arch.* 9 (2016).
5. Koziarski M. et al. DiagSet: a dataset for prostate cancer histopathological image classification // *Scientific Reports*. — 2024. — Т. 14. — №. 1. — С. 6780. cancers in 185 countries." *CA: a cancer journal for clinicians* 74.3 (2024): 229–263.

## БЕСКОНТАКТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ИМПУЛЬСНОГО ФОКУСИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКА

Пономарчук Е.М.<sup>1</sup>, Цысарь С.А.<sup>2</sup>, Сапожников О.А.<sup>3</sup>, Хохлова В.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ, кафедра медицинской физики, Москва, Россия

<sup>2</sup> Физический факультет МГУ, кафедра нанофотоники, Москва, Россия

<sup>3</sup> Физический факультет МГУ, кафедра акустики, Москва, Россия

E-mail: msu.ekaterina.ponomarchuk@gmail.com

**Ключевые слова:** мощный фокусированный ультразвук, неинвазивная хирургия, опухоли.

Развитие современных методов хирургии направлено на снижение инвазивности вмешательств для уменьшения риска инфекции, ускорения восстановления и повышения доступности операций. Перспективным инструментом является высокоинтенсивный фокусированный ультразвук (HIFU, high intensity focused ultrasound) [1]. Принцип его использования основан на способности ультразвуковых (УЗ) волн беспрепятственно проходить через кожу и ткани в организм человека и оказывать локальное воздействие в фокусе без повреждения окружающих и промежуточных тканей. При этом оказываемый на ткань эффект зависит от интенсивности УЗ волны и режима воздействия.

При относительно низких интенсивностях в фокусе (до нескольких сотен Вт/см<sup>2</sup>) основным механизмом воздействия является тепловой, при котором энергия волны поглощается тканью в фокусе, вызывая ее нагрев до температуры теплового некроза. Такой режим лежит в основе низкотемпературной гипертермии и высокотемпературной тепловой HIFU-абляции [2], уже применяемых в клиниках для лечения нейродегенеративных заболеваний и абляции опухолей. Накопленный клинический опыт выявил ограничения тепловых



HIFU-методов по точности воздействия из-за теплообмена, времени выведения термически коагулированной ткани и необходимости дорогостоящих установок для МРТ-термометрии.

В связи с этим, растет интерес к использованию механического воздействия на ткань короткими УЗ импульсами с интенсивностями в фокусе порядка и выше  $1 \text{ кВт/см}^2$ . Такие режимы, получившие название гистотрипсии, основаны на использовании нелинейно искаженных УЗ волн с ударными фронтами в фокусе [3–5]. Использование последовательности импульсов длительностью 1–20 мс с достаточными паузами между ними обеспечивает чисто механическое воздействие на целевую ткань без выраженных тепловых эффектов. Образующиеся в процессе воздействия парогазовые пузыри в фокальной области и в результате ликвидированная ткань отличаются по акустическому импедансу от окружающих тканей и потому позволяют визуализировать процедуру с помощью диагностических УЗИ-аппаратов, более доступных, чем МРТ. При этом субклеточные продукты ликвидированной ткани выводятся иммунной системой организма быстрее термически коагулированной ткани.

Такой метод механического разрушения ткани был предложен и развивается на физическом факультете МГУ с целью дальнейшего клинического использования в онкологии для неинвазивного разрушения опухолей, а также ликвидации гематом и др. Другими потенциальными клиническими приложениями гистотрипсии являются лечение абсцессов, ускорение заживления тканей, усиление иммунного отклика и проведение неинвазивной биопсии. Последние исследования МГУ впервые показали возможность механического разрушения *ex vivo* наиболее часто встречающихся опухолей человека: молочной железы, предстательной железы, печени, органов желудочно-кишечного тракта, матки и др. Были определены свойства тканей, влияющие на их чувствительность к разрушению, разработаны концепции дозы воздействия и ее пороговые значения для тканей разной структуры и состава, разработан способ предсказания контуров опасных зон вокруг фокуса, создан нейросетевой алгоритм для оценки качества УЗ воздействия, а также исследованы методы компенсации дыхательных движений пациента при чрескожном воздействии в режимах гистотрипсии.

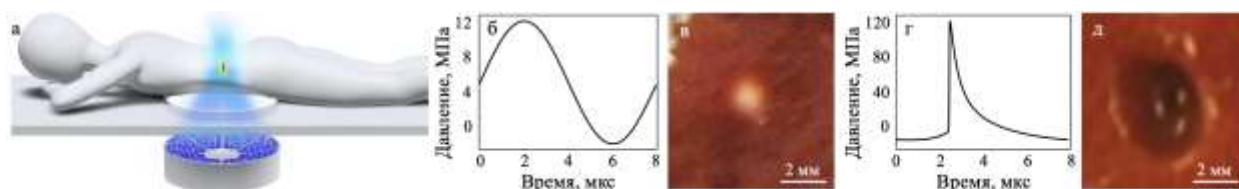


Рис. 1. (а) Принцип проведения HIFU-операции. (б–д) Характерные профили УЗ волны в фокусе и получаемые эффекты в ткани при тепловом (б,в) и механическом (г,д) воздействиях с одинаковой средней акустической мощностью

### Литература

1. Фокусированный ультразвук высокой интенсивности в медицине / Л.Р. Гаврилов // Фазис. М., 2013.
2. Thermal dose determination in cancer therapy / S. Sapareto, W. Dewey // *Int J Radiat Oncol Biol Phys* — 1984. — Vol. 106. — P. 787–800.
3. Мощный фокусированный ультразвук: нелинейные эффекты, возбуждение сдвиговых волн и медицинская диагностика / О.В. Руденко // *Вестник МГУ* — 1996. — № 6. — С 18–32.
4. Shock-induced heating and millisecond boiling in gels and tissue due to high intensity focused ultrasound / M.S. Canney, V.A. Khokhlova., O.V. Bessonova, et al. // *Ultrasound Med Biol* — 2010. — V. 36, no. 2. — P. 250–267.
5. The histotripsy spectrum: differences and similarities in techniques and instrumentation / R.P. Williams, J.C. Simon, V.A. Khokhlova, et al. // *Int J Hyperthermia* — 2023. — Vol. 40, no. 1. — P. 2233720.

## СПЕКТРОСКОПИЯ ДИФфуЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТКАНЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ДИССЕКЦИИ КИШКИ

Ширяев С.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова,  
Институт регенеративной медицины, Москва, Россия

E-mail: shiryayev.s@internet.ru

Лазерная диссекция является одним из методов удаления опухолей при эндоскопических вмешательствах на толстой кишке. Несмотря на высокую точность и малую инвазивность процедуры, остаётся существенная проблема — риск повреждения мышечной ткани [1]. При случайном воздействии лазера на мышечный слой могут возникать послеоперационные осложнения: локальные перфорации и замедленное восстановление стенки кишки, что увеличивает сроки реабилитации и требует дополнительного наблюдения. Для повышения безопасности часто используется краситель индигокармин, который селективно поглощается подслизистым слоем, но практически не поглощается мышечной тканью. Это создаёт контраст между двумя типами тканей и позволяет более уверенно контролировать глубину разреза. Однако даже при использовании красителя сохраняется риск непреднамеренного воздействия на мышечный слой из-за вариабельности анатомии, неравномерного распределения индигокармина и динамики эндоскопического вмешательства [2].

В данной работе рассматривается возможность применения метода спектроскопии диффузного отражения (Diffuse Reflectance Spectroscopy, DRS), который уже используется для анализа тканей в интраоперационной диагностике [3]. Метод был использован для классификации подслизистой и мышечной тканей по их спектрам оптической плотности. Метод основан на анализе света, многократно рассеивающегося и поглощающегося в биологической структуре, что делает его чувствительным к изменениям оптических свойств и концентрации красителя. Измерения проводились во время эндоскопических процедур с периодическим введением индигокармина, что позволило регистрировать спектральные изменения в реальных клинических условиях. Подход направлен на повышение точности интраоперационной дифференциации тканей и, как следствие, снижение вероятности повреждения мышечного слоя при лазерной диссекции. В перспективе метод может быть интегрирован в клиническое оборудование для построения систем обратной связи в реальном времени.

### Литература

1. Baltussen E.J.M., Brouwer de Koning S.G., Sanders J., Aalbers A.G.J., Kok N.F.M., Beets G.L., Hendriks B.H.W., Sterenborg H.J.C.M., Kuhlmann K.F.D., Ruers T.J.M. Tissue diagnosis during colorectal cancer surgery using optical sensing: an in vivo study // *Journal of Translational Medicine*. — 2019. — Vol. 17, Article 333. — DOI: 10.1186/s12967-019-2083-0.
2. Dolz-Abadía C., Vilella-Martorell A. Submucosal chromoendoscopy. A technique that highlights epithelia and differentiates histological components, and renders colon polypectomy easier and safer // *Revista Española de Enfermedades Digestivas (Madrid)*. — 2015. — Vol. 107, № 7. — P. 430–435. — DOI: 10.17235/reed.2015.3550/2014.
3. Baltussen E.J.M., Snaebjornsson P., de Koning S.G.B., Sterenborg H.J.C.M., Aalbers A.G.J., Kok N.F.M., Beets G.L., Hendriks B.H.W., Kuhlmann K.F.D., Ruers T.J.M. Diffuse reflectance spectroscopy as a tool for real-time tissue assessment during colorectal cancer surgery // *Journal of Biomedical Optics*. — 2017. — Vol. 22, № 10. — 106014. — DOI: 10.1117/1.JBO.22.10.106014.

## ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ В ОНКОЛОГИИ

Эфендиев К.Т.<sup>1,2</sup>, Алексеева П.М.<sup>1</sup>, Лощенов В.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

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

E-mail: kanamatus@gmail.com

**Введение.** Фотодинамическая терапия (ФДТ) и флуоресцентная диагностика занимают значимое место в современной онкологии, благодаря высокой селективности воздействия на опухолевую ткань с минимальным повреждением здоровых структур. Метод основан на избирательном накоплении фотосенсибилизатора (ФС) в патологических тканях и его последующей активации светом определенной длины волны. В основе фотодинамического воздействия лежат фотохимические реакции двух типов. При поглощении кванта света молекула ФС переходит в возбужденное триплетное состояние. В дальнейшем энергия передается либо непосредственно биологическим субстратам с образованием свободных радикалов (тип I), либо молекулярному кислороду с генерацией цитотоксического синглетного кислорода (тип II). Данный процесс запускает каскад реакций, приводящих к прямому повреждению опухолевых клеток, разрушению микрососудистого русла опухоли и/или активации противоопухолевого иммунного ответа.

**Дозиметрия ФДТ.** Одной из ключевых проблем остается корректная дозиметрия ФДТ. В работе рассматриваются современные устройства и методы контроля энергетических параметров лазерного излучения и концентрации ФС в ткани. Перспективным направлением является внедрение систем с обратной связью, использующих методы спектроскопической диагностики для оценки фотообесцвечивания ФС и содержания кислорода в режиме реального времени. Рассматривается применение интерстициальных оптоволоконных датчиков для объемного мониторинга ФДТ.

**Повышение эффективности и комбинированные протоколы ФДТ.** Для преодоления гипоксии опухоли и повышения эффективности ФДТ разрабатываются методы фракционированного излучения, комбинированного применения нескольких ФС, а также методы повышения концентрации ФС или кислорода в тканях. Особое внимание в докладе уделено комбинированным протоколам лечения. Сочетание ФДТ с химиотерапией (например, цисплатином) демонстрирует синергетический эффект, позволяя преодолевать лекарственную резистентность опухолевых клеток.

**ФДТ глубокозалегающих опухолей.** Лечение новообразований сложной локализации требует применения интерстициальных методов доставки света. В докладе рассматривается использование навигационных систем и ультразвукового контроля для точного позиционирования оптоволоконных диффузоров. В нейроонкологии, в частности при лечении опухолей мозга, ключевую роль играет флуоресцентная диагностика для высокоточной интраоперационной визуализации границ опухоли. Для воздействия на глубокие опухолевые очаги применяется стереотаксическая диагностика и ФДТ, позволяющие точно ввести световоды и обеспечить прицельное облучение. Также обсуждается эффективность внутрипротоковой ФДТ при холангиоцеллюлярном раке, где эндоскопический доступ позволяет проводить прицельную фотодинамическую диагностику и ФДТ, обеспечивающих реканализацию желчных протоков и улучшение качества жизни пациентов при неоперабельных формах заболевания.

**Антибактериальная ФДТ.** В рамках доклада также затрагивается аспект антимикробной ФДТ, который представляет собой эффективный метод лечения длительно

незаживающих инфицированных ран и язв, в том числе вызванными антибиотикорезистентными штаммами бактерий, без риска развития резистентности к самому методу.

**Заключение.** Современное развитие ФДТ движется по пути персонализации: от разработки таргетных методов доставки ФС до создания интеллектуальных систем дозиметрии. Комбинирование ФДТ с традиционными методами лечения открывает новые возможности в терапии различных форм рака.

**Благодарности:** Работа выполнена за счет гранта РНФ № 25-75-10156.

## **Секция 6**

# **Искусственный интеллект в лучевой диагностике**

10 декабря 2025. Лекторий коворкинга 1 учебного корпуса МГУ (Ленинские горы, 1, стр. 51)

**Председатели секции:** д.м.н. А.В. Владимирский; д.м.н. В.Е. Сеницын;  
к.ф.-м.н. Р.В. Решетников; к.ф.-м.н. Ф.Р. Студеникин

## ДИАГНОСТИКА ОСТРОГО ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПО ДАННЫМ БЕСКОНТРАСТНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Азнаурова Ш.А.<sup>1</sup>, Кремнева Е.И.<sup>1</sup>, Арзамасов К.М.<sup>1</sup>, Владимирский А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы  
«Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий  
Департамента здравоохранения города Москвы», ул. Петровка, д. 24, стр. 1,  
г. Москва, 127051, Российская Федерация

e-mail: AznaurovaSA@zdrav.mos.ru

**Актуальность.** Острый ишемический инсульт — жизнеугрожающее состояние, требующее экстренной диагностики для своевременного начала реперфузионной терапии [1]. Компьютерная томография является одним из основных методов диагностики острого нарушения мозгового кровообращения [2]. Однако распознавание ишемического инсульта на ранних стадиях представляет значительные трудности в связи с минимальными структурными изменениями мозговой ткани, а также субъективностью визуальной оценки [2, 3]. Внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) представляет собой перспективное направление для повышения эффективности диагностики острого ишемического инсульта.

**Цель.** Оценка диагностических показателей алгоритмов ИИ для автоматического выявления признаков острого ишемического инсульта на бесконтрастной КТ головного мозга.

**Материалы и методы.** Тремя алгоритмами-ИИ для верификации острого ишемического инсульта на КТ-изображениях головного мозга был проведён ретроспективный анализ выборки из 100 деперсонализированных КТ-исследований с балансом классов 50:50 (50 исследований с верифицированным острым ишемическим инсультом, 50 — без признаков ишемии). Верификацию КТ-исследований проводили два рентгенолога (стаж работы по данному виду не менее 3 лет), при отсутствии консенсуса между ними привлекался третий эксперт (стаж работы по данному виду более 5 лет). Для задач исследования были рассчитаны диагностические показатели алгоритмов ИИ с 95% доверительным интервалом (точность, чувствительность, специфичность, AUC).

**Результаты.** При анализе результатов исследования выявлена значительная вариабельность диагностических показателей алгоритмов ИИ:

1. Алгоритм ИИ-1 продемонстрировал точность 0,870 (95% ДИ: 0,801–0,938), чувствительность 0,911 (95% ДИ: 0,828–0,994), специфичность 0,830 (95% ДИ: 0,722–0,937), AUC 0,887 (95% ДИ: 0,818–0,955);

2. Алгоритм ИИ-2 продемонстрировал точность 0,854 (95% ДИ: 0,781–0,969), чувствительность 0,833 (95% ДИ: 0,728 — 0,939), специфичность 0,875 (95% ДИ: 0,781 — 0,939), AUC 0,872 (95% ДИ: 0,795–0,948);

3. Алгоритм ИИ-3 продемонстрировал точность 0,806 (95% ДИ: 0,728–0,884), чувствительность 0,680 (95% ДИ: 0,551–0,809), специфичность 0,938 (95% ДИ: 0,869–1,000), AUC 0,829 (95% ДИ: 0,739–0,918).

**Обсуждение.** Алгоритмы ИИ-1 и ИИ-2 продемонстрировали высокие диагностические показатели (AUC >0,87, чувствительность и специфичность ≥83%), соответствующие требованиям для вспомогательных систем в клинической практике. Высокая чувствительность алгоритма ИИ-1 (91,1%) особенно важна для минимизации пропусков патологии. В то же время, существенно более низкая чувствительность алгоритма ИИ-3 (68,0%) ограничивает его клиническое применение и свидетельствует о необходимости дальнейшей оптимизации алгоритмов с целью минимизации ложноотрицательных заключений.

**Выводы.** Технологии ИИ в качестве системы поддержки врачебных решений обладают значительным потенциалом для повышения точности и скорости диагностики острого ишемического инсульта, особенно в условиях дефицита времени и экспертных кадров. Однако выявленная вариабельность диагностических показателей между разными алгоритмами подчеркивает категорическую необходимость обязательной, тщательной и независимой клинической валидации каждого конкретного ИИ-решения перед его внедрением в рутинную практику.

### Литература

1. Игнатьева В.И., Вознюк И.А., Шамалов Н.А., Резник А.В., Виноцкий А.А., Деркач Е.В. Социально-экономическое бремя инсульта в Российской Федерации. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2023;123(8-2):5-15. doi:10.17116/jnevro20231230825
2. Гусев Е. И., Коновалов А. Н., Скворцова В. И.. Неврология: национальное руководство. Москва :ГЭОТАР-Медиа; 2022.
3. Андропова П.Л., Колесникова П.А., Гаврилов П.В., Кокорев О.В., Чернова Е.В., Курносенко О.А., Галустян Д.Х., Бойцова М.Г., Трофимова Т.Н. Влияние системы автоматического выявления ишемических изменений в бассейне средней мозговой артерии на процесс принятия врачебных решений. Медицинская визуализация. 2024;28(3):42–52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1446>

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МРТ-ДИАГНОСТИКЕ НОВООБРАЗОВАНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Блинова З.М.<sup>1,2</sup>, Доможирова А.С.<sup>1</sup>, Арзамасов К.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы  
«Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий  
Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва

<sup>2</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Городская Клиническая  
Больница им. В.М. Буянова Департамента Здравоохранения г. Москвы», г. Москва

E-mail: blinovazm@yandex.ru

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, магнитно-резонансная томография, новообразования.

**Аннотация.** В современной медицине наблюдается интенсивное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ), включая сферу лучевой диагностики [1]. Согласно актуальным данным эпидемиологического мониторинга, ежегодно в РФ выявляется около 8–8,5 тысяч новых случаев новообразований головного мозга, что составляет 5,5 случаев на 100 тыс. населения; распространённость данной патологии среди населения обоих полов не превышает 27,7 случаев на 100 тысяч населения [2]. На основании анализа общей и очаговой неврологической симптоматики врач осуществляет дифференциальную диагностику, исключая ряд патологий: инсульт, рассеянный склероз, черепно-мозговую травму и воспалительные процессы центральной нервной системы. В качестве объективного метода визуализации патологических новообразований церебральных структур «золотым стандартом» признана магнитно-резонансная томография (МРТ) [3]. МРТ головного мозга предоставляет значимые диагностические данные о новообразованиях, включая их локализацию, распространённость и топографическую взаимосвязь с белым и серым веществом и прилегающими церебральными структурами.

**Цель:** провести анализ работы алгоритмов ИИ в диагностике новообразований головного мозга на МРТ.

**Материалы и методы.** В Научно-практическом клиническом центре диагностики и телемедицинских технологий (НПКЦ ДиТ) ведутся испытания двух ИИ-сервисов (далее — ИИ-1 и ИИ-2) для выявления новообразований головного мозга при МРТ. Функциями данных сервисов являются:

- 1) Бинарная классификация МРТ-исследований: есть / нет патологии;
- 2) Сегментация новообразований;
- 3) Определение его объема и размеров.

ИИ предоставляет дополнительное изображение с сегментацией и указанием размеров выявленной патологии, а также дополнительную информацию по работе с данным алгоритмом. В нашем исследовании формирование датасета производилось путём случайного отбора 80 анонимизированных МРТ-исследований в период с 2023 года по настоящее время. В результате алгоритм ИИ-1 проанализировал 960 исследований, алгоритм ИИ-2 — 1040 исследований. Методическая база исследования предусматривала количественную оценку следующих метрик: чувствительность, специфичность, точность, дополненную проведением ROC-анализа.

**Результаты.** Чувствительность алгоритма ИИ-1 составила 93,8%, специфичность — 35,4%, точность — 83,4%; AUC ROC-кривой — 0,65. В ходе оценки алгоритма ИИ-2 получены следующие показатели: чувствительность — 94,9%, специфичность — 52,8%, точность — 90,4%; площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,74.

**Заключение.** ROC-анализ подтвердил удовлетворительную диагностическую эффективность обоих ИИ-алгоритмов, при этом ИИ-2 продемонстрировал статистически значимое преимущество по показателю AUC (0,74 против 0,65), что свидетельствует о его более высокой способности анализа новообразований головного мозга на МРТ.

В целях повышения диагностической точности МРТ исследований при подозрении на новообразования головного мозга представляется целесообразным применение ИИ-сервисов как вспомогательного инструмента в работе врача лучевой диагностики.

### Литература

1. Труфанов Г.Е., Ефимцев А.Ю. Технологии искусственного интеллекта в МР-нейровизуализации. Взгляд рентгенолога. Российский журнал персонализированной медицины. 2023;3(1):6-17. DOI 10.18705/2782-3806-2023-3-1-6-17
2. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В., ред. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). М.: ФГБУ «МНИОИ им. П.А. Герцена» Минздрава России. 2024.
3. Козлов А.В., Голанов А.В., Кулдашев К.А. и др. Опухоли мозга: эпидемиология, патогенез, факторы риска, принципы диагностики и лечения // Re-Health Journal. 2019. № 3. С. 140–151.

## КЛИНИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ДЛЯ ОКОНТУРИВАНИЯ ОРГАНОВ РИСКА В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Кобякова Т.А., Студеникин Ф.Р., Лыкова Е.Н., Глухов И.С.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

**Актуальность.** Ручное оконтуривание критических структур (OARs) занимает значительное время врача и характеризуется высокой вариабельностью [1, 2]. Использование готовых алгоритмов автоматической сегментации [3] не всегда обеспечивает необходимую точность при работе с данными конкретной клиники из-за различий в протоколах сканирования и подходах к оконтуриванию [4].



**Материалы и методы.** В ретроспективное исследование были включены данные компьютерной томографии 100 пациентов, проходивших подготовку к лучевой терапии. Для автоматизации процесса было разработано локальное программное приложение, включающее передачу данных во внешние контуры. В качестве базового алгоритма использовалась модель TotalSegmentator (версия v2, архитектура nnU-Net). Было проведено дообучение базовой модели на подготовленном наборе данных. В качестве «золотого стандарта» использовались эталонные контуры, подготовленные врачами-радиотерапевтами независимо. Врачам не демонстрировались предварительные предсказания нейросети, чтобы исключить предвзятость. Сравнительная оценка качества сегментации до и после дообучения проводилась с использованием коэффициента Дайса (Dice Score) для ключевых структур малого таза.

**Результаты.** Базовая модель продемонстрировала приемлемое, но требующее коррекции качество сегментации (средний Dice 0.82–0.88). Применение процедуры дообучения на локальной выборке из 100 пациентов позволило повысить среднее значение коэффициента Дайса на 2-3% для целевых структур (Рис.1). Время получения готовых контуров в разработанном приложении составляет менее 2 минут, что существенно оптимизирует рабочий процесс по сравнению с ручным режимом.



Рис. 1. Интерфейс разработанного приложения.  
Пример сравнения эталонного контура (красный) и контура, предсказанного моделью (зеленый), для мочевого пузыря

**Выводы.** Разработанное локальное приложение на базе дообученной модели позволяет эффективно автоматизировать рутинный этап оконтуривания. Дообучение на данных конкретного лечебного учреждения является критически важным этапом, обеспечивающим прирост точности сегментации. В то же время, исследование показало, что коэффициент Дайса не является исчерпывающей метрикой: даже при высоких значениях контур может требовать клинически значимых правок. Это диктует необходимость выработки дополнительных, клинически-ориентированных критериев оценки, отражающих реальную приемлемость результата для дальнейшего планирования лучевой терапии.

### Литература

1. Boldrini L. et al. Deep learning: a review for the radiation oncologist //Frontiers in oncology. — 2019. — Т. 9. — С. 977.
2. Lucido J. J. et al. Validation of clinical acceptability of deep-learning-based automated segmentation of organs-at-risk for head-and-neck radiotherapy treatment planning //Frontiers in Oncology. — 2023. — Т. 13. — С. 1137803.
3. Wasserthal J. et al. TotalSegmentator: robust segmentation of 104 anatomic structures in CT images // Radiology: Artificial Intelligence. — 2023. — Т. 5. — №. 5. — С. e230024.

4. Sluijter J. H. et al. Evaluation of artificial intelligence-based autosegmentation for a high-performance cone-beam computed tomography imaging system in the pelvic region //Physics and Imaging in Radiation Oncology. — 2025. — Т. 33. — С. 100687.

### **ИИ ПРОТИВ РУТИНЫ: ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЗАДАЧ ОКОНТУРИВАНИЯ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

**Федосеенко Ю.А.<sup>1</sup>, Хромов С.С.<sup>1</sup>, Черных М.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, Москва, Россия

E-mail: kudashkina.work@gmail.com

Внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в клиническую практику лучевой терапии является ключевым направлением для повышения точности, эффективности и стандартизации лечения. Наиболее трудоемким и субъективным этапом планирования остается оконтуривание органов риска (ООР). Автооконтуривание, выполняемое посредством автоматизированного определения целевых объемов таргетных мишеней и критических органов на основе нейронных сетей, может заменить традиционное оконтуривание в ручном режиме врачами-радиотерапевтами. Такой подход позволяет не только снизить временные затраты на обработку медицинских изображений, уменьшить риск возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором и повысить качество планирования лечения. Существующие в коммерческих системах планирования методы автосегментации часто не предоставляют необходимой точности или полного спектра требуемых структур [1]. Целью данной работы является разработка и валидация алгоритма глубокого обучения для автоматической сегментации ООР с использованием референсной базы данных отделения радиотерапии РОНЦ им. Блохина.

Для проведения исследования был сформирован набор данных КТ-исследований 3000 пациентов, разделенным по трем локализациям: голова (n=1000), брюшная полость (n=1000), малый таз (мужской малый таз n=500, женский малый таз n=500). Обучающая выборка включает данные с 3000 пациентов со злокачественными новообразованиями различных нозологий. В базу данных для головного мозга были отобраны случаи ЛТ, проводимой на весь объем головного мозга, первичные опухоли ЦНС и метастазы в головном мозге. База данных абдоминальной области, репродуктивных и мочевыводящих систем включала случаи рака пищевода, желудка, почек, поджелудочной железы, метастазы в забрюшинные лимфоузлы и малого таза, рак анального канала, предстательной железы, злокачественные новообразования женской репродуктивной системы, мочевого пузыря, прямой кишки. Все данные были получены в результате проведения КТ-топометрии, позволяющей определить объемы опухоли и здоровые органы. Для каждого пациента независимо было выполнено оконтуривание полного набора ООР, руководствуясь консенсусными рекомендациями. Для количественной оценки согласия между экспертами и установления референсного стандарта был использован коэффициент Дайса (Dice Similarity Coefficient, DSC) [2]. DSC вычислялся для всех комбинаций по формуле:

$$DSC(A, B) = (2 * |A \cap B|) / (|A| + |B|),$$

где A — предсказанная моделью маска, B — эталонная (ожидаемая) маска.

Процесс построения решения на основе ИИ для анализа медицинских данных КТ включает в себя несколько основных этапов представленных на рисунке 1, каждый из которых направлен на обеспечение высокой точности, надежности и обобщающей способности моделей.



Рис. 1. Блок-схема общего конвейера анализа медицинских данных с помощью ИИ

Итоговым референсным значением для каждого ООР служило среднее арифметическое всех DSC. Были получены референсные значения DSC для более, чем 60 трех локализаций. Анализ показал, что вариабельность наиболее высока для органов с низкой контрастностью на КТ и сложной геометрией (средний DSC составил  $0.87 \pm 0.08$ ).

Для обработки изображений эффективно применяют нейросетевые архитектуры, отлично зарекомендовавшей себя моделью U-Net, изначально разработанной для анализа медицинских изображений. U-Net является популярной архитектурой для задач сегментации, где требуется не только определить класс всего изображения, но и выделить области изображения по классам, создавая так называемую маску для деления на различные классы [3]. Архитектура U-Net включает в себя сверточные слои для захвата контекста и декодерные слои для точной пространственной локализации объектов [4].

### Литература

1. Brouwer C, Boukerroui D, Oliveira J. et al. Assessment of manual adjustment performed in clinical practice following deep learning contouring for head and neck organs at risk in radiotherapy // *Physics and Imaging in Radiation Oncology*. — 2020 Oct 14. — Vol. 16. — P. 54–60.
2. Molière S., Hamzaoui D., Granger B. et al. Reference standard for the evaluation of automatic segmentation algorithms: Quantification of inter observer variability of manual delineation of prostate contour on MRI // *Diagnostic and Interventional Imaging*. — 2024 Feb. — Vol. 105, Issue 2. — P. 65–73.3.
3. Siddique N., Paheding S., Elkin C.P., Devabhaktuni V. U-Net and Its Variants for Medical Image Segmentation: A Review of Theory and Applications // *IEEE Access*. — 2021. — Vol. 9. — P. 82031-82057.
4. Ibtehaz N., Rahman M.S. MultiResUNet : Rethinking the U-Net architecture for multimodal biomedical image segmentation // *Neural Networks*. — 2020 Jan. — Vol. 121. — P. 74–87.

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ  
В ДИАГНОСТИКЕ НОВООБРАЗОВАНИЙ (ИНЦИДЕНТАЛОМ)  
НАДПОЧЕЧНИКОВ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ:  
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ**

**Шихмуратов Д.У.<sup>1</sup>, Васильев Ю.А.<sup>1</sup>, Владимирский А.В.<sup>1</sup>,  
Доможирова А.С.<sup>1</sup>, Арзамасов К.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Российская Федерация

e-mail: ShikhmuradovDU@zdrav.mos.ru

**Актуальность.** Новообразования надпочечников являются относительно частой находкой при компьютерной томографии, выявляясь примерно у 4% населения в общей популяции и до 10% у лиц старше 70 лет [1–3]. Компьютерная томография (КТ) остаётся ключевым методом визуализации, который в большинстве случаев позволяет предположить характер образования. В этой связи, алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) представляют собой перспективный инструмент для поддержки принятия решений врачом-рентгенологом в задаче обнаружения и характеристики образований надпочечников.

**Цель работы:** провести оценку диагностической эффективности алгоритмов ИИ для выявления новообразований надпочечников при КТ.

**Материалы и методы.** В настоящее время для оценки новообразований надпочечников свои решения представили две компании, это ООО «Интел диагностик» и ООО «АЙРА Лабс», которые в дальнейшем по тексту будут анонимизированы. Решение каждой компании представлено двумя модификациями: моносервис, определяющий только новообразования надпочечников и комплексный ИИ-сервис для оценки КТ органов брюшной полости (ОБП) и грудной клетки (ОГК). Оценка алгоритмов ИИ для диагностики новообразований надпочечников проводилась в виде тестирования на ограниченных наборах данных КТ ОГК и ОБП из 100 исследований.

Также в ходе исследования проведена оценка диагностической точности врачей-рентгенологов и алгоритмов ИИ в выявлении новообразований надпочечников на ретроспективно отобранном наборе данных из 2000 исследований КТ ОБП и ОГК. Оценка точности алгоритмов ИИ и врача-рентгенолога проводили путем расчета: AUC ROC, точности, чувствительности и специфичности [4].

**Результаты.** После тестирования на ограниченных наборах данных ПО на основе ТИИ показатели следующие:

1. ИИ-1 (моносервис для анализа ОБП): площадь под кривой (AUC) — 98%, чувствительность (Ч) — 96%, специфичность (С) — 96%, точность (Т) — 96%.
2. ИИ-2 (моносервис для анализа ОГК): AUC — 89%, Ч — 84%, С — 92%, Т — 88%.
3. ИИ-3 (комплексный сервис для анализа ОГК): AUC — 86%, Ч — 74%, С — 94%, Т — 84%.
4. ИИ-4 (моносервис для анализа ОБП): AUC — 100%, Ч — 100%, С — 96%, Т — 98%.
5. ИИ-5 (комплексный сервис для анализа ОГК): AUC — 96%, Ч — 88%, С — 100%, Т — 94%.
6. ИИ-6 (комплекс для анализа ОБП): AUC — 99%, Ч — 100%, С — 94%, Т — 97%.

Результаты корректности оценки на наличие или отсутствие образований надпочечников на наборе данных из 2000 исследований КТ ОГК и ОБП представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты	ИП	ИО	ЛП	ЛО
Врач-рентгенолог	163	1676	2	159
Алгоритм ИИ	304	1504	174	18

Метрики диагностической точности врача-рентгенолога и алгоритмов ИИ при выявлении новообразований надпочечников представлены в таблице 2.

Таблица 2

	ROC AUC	Чувствительность	Специфичность	Точность
Врач-рентгенолог	0,753 [0,726–0,780]	0,506 [0,452–0,561]	0,999 [0,997–1,000]	0,919 [0,908–0,931]
Алгоритмы ИИ	0,920 [0,906–0,935]	0,944 [0,919–0,969]	0,896 [0,882–0,911]	0,904 [0,891–0,917]

Таб.2. Примечание: в квадратных скобках указан 95% доверительный интервал.

**Закключение:** По результатам исследования алгоритмы ИИ продемонстрировали статистически значимое превосходство над врачами-рентгенологами при выявлении новообразований надпочечников на КТ (AUC 0,92 против 0,75). Совместное использование ИИ и врача обеспечивает оптимальный баланс между высокой чувствительностью машинного анализа и экспертной оценкой специалиста, что потенциально снижает частоту диагностических ошибок. Вместе с тем эффективность ИИ во многом зависит от качества исходных изображений, остаются сложности при интерпретации нетипичных случаев, а также необходимость регулярного обновления и дообучения алгоритмов. Перспективы развития связаны с созданием комплексных алгоритмов, способных анализировать весь спектр патологий в исследуемой области и интегрировать клинические и лабораторные данные для повышения точности диагностики.

**Ключевые слова:** новообразования надпочечников, компьютерная томография, искусственный интеллект.

### Литература

1. Pacak K, Eisenhofer G, Grossman A. The incidentally discovered adrenal mass. N Engl J Med. 2007 May 10;356(19):2005. doi: 10.1056/NEJMc070612
2. Kloos RT, Gross MD, Francis IR, Korobkin M, Shapiro B. Incidentally discovered adrenal masses. Endocr Rev. 1995 Aug;16(4):460-84. doi: 10.1210/edrv-16-4-460
3. Калашникова М.Ф., Устюгова А.В. Обследование пациентов с инсиденталомой надпочечника // Клиницист 2008. № 4. С. 35–40
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617324 РФ. Веб-инструмент для выполнения ROC анализа результатов диагностических тестов : № 2022616046 : заявл. 05.04.2022 : опубл. 19.04.2022 / С. П. Морозов, А. Е. Андрейченко, С. Ф. Четвериков [и др.]; заявитель ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ».

**International Youth Scientific Forum «RadMed» : I International Youth Scientific Forum «RadMed-2024»**, December, 2024; **II International Youth Scientific Forum «RadMed-2025»**, December, 2025. Moscow, MSU : collection of abstracts / Responsible editors: F.R. Studenikin, E.I. Zimakova. – Moscow : MAKS Press, 2025. – 134 p.

ISBN 978-5-317-07516-3

<https://doi.org/10.29003/m4999.978-5-317-07516-3>

On December 9–10, 2025, the Second International Youth Scientific Forum «RadMed-2025» was held at Lomonosov Moscow State University with the support of the Association of Oncologists of Russia and the Russian Academy of Education.

The forum, held in celebration of the 270th anniversary of Lomonosov Moscow State University, brought together experts in medical physics, radiotherapy, nuclear medicine, and radiation diagnostics, and was devoted to current issues related to the application of radiation technologies in medicine and healthcare.

Participants represented 23 regions of the Russian Federation, including Moscow and the Moscow Region, Saint Petersburg, the Republic of Bashkortostan, Tatarstan, Sakha (Yakutia), Komi, Ingushetia, Crimea, Krasnodar Krai, Samara Region, as well as the cities of Belgorod, Volgograd, Voronezh, Donetsk, Irkutsk, Nizhny Novgorod, Saratov, Obninsk, Petrozavodsk, Tambov, Tomsk, and Tyumen, and also the Republic of Uzbekistan. In seven regions, remote venues were organized for Forum participants and speakers.

In total, 87 reports were delivered at the plenary and breakout sessions, presenting research results obtained by scientists and specialists from institutes of the Russian Academy of Sciences, universities, medical and research institutions, as well as enterprises and companies from more than 15 cities of the Russian Federation and CIS countries.

This proceedings volume includes abstracts of presentations delivered during two years of the Forum's activities: «RadMed-2024» and «RadMed-2025», covering the following thematic areas: Radiation therapy and radiation diagnostics; Artificial intelligence in medicine; Digital technologies for health monitoring; Radiation processing of biological objects and materials; and Domestic developments in medical physics.

*Keywords:* medicine, medical physics, radiation technologies, artificial intelligence, radiation diagnostics, radiation therapy, radiobiology, health monitoring, radiation treatment.

Научное издание

МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «РАДМЕД»  
«РАДМЕД-2024», «РАДМЕД-2025»

Москва, МГУ  
10–11 декабря 2024 г., 9–10 декабря 2025 г.

Сборник тезисов докладов

Подготовка оригинал-макета:

Издательство «МАКС Пресс»

Главный редактор: *Е.М. Бугачева*

Верстка: *Н.С. Давыдова*

Обложка: *А.В. Кононова*

Публикуется в авторской редакции

Подписано в печать 27.12.2025 г.

Формат 70х100 1/8. Усл. печ. л. 16,75.

Тираж 8 экз. Заказ № 187.

Издательство ООО «МАКС Пресс»

Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы,

МГУ им. М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, 527 к.

Тел. 8(495)939-3890/91. Тел./Факс 8(495)939-3891.

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт»  
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42,  
корп. 5, эт. 1, пом. I, ком. 6.3-23Н