

**Отзыв научного консультанта**  
**о диссертационной работе Близнюк Ульяны Александровны «Новые подходы к**  
**развитию методов радиационной обработки биологических объектов» на**  
**соискание ученой степени доктора физико-математических наук по**  
**специальности 1.5.1 Радиобиология (физико-математические науки)**

Близнюк Ульяна Александровна в 2003 году окончила физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова по направлению образовательной программы «Физика», в 2007 году защитила кандидатскую диссертацию на кафедре физики ускорителей и радиационной медицины по теме «Пространственное распределение эффективности воздействия пучка электронов при его распространении в суспензии эритроцитов» по специальности 01.04.16. – «Физика атомного ядра и элементарных частиц». С 2015 год по настоящее время является старшим преподавателем кафедры физики ускорителей и радиационной медицины Физического факультета МГУ. С 2008 по 2015 гг. и с 2021 по 2024 гг. работала младшим научным сотрудником НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, а с 22 января 2024 года работает в должности заведующей лабораторией радиационной обработки биообъектов и материалов отдела ядерно-физических методов в медицине и промышленности НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына.

Близнюк У.А. имеет более 250 печатных работ, из них 133 статьи и 5 книг, в том числе в высокорейтинговых журналах (Web of Science: 7, Scopus: 16, IstinaresearcherID (IRID): 465189), за последние 5 лет опубликовано 52 статьи и 2 книги. Она читает спецкурс для студентов 4 курса кафедры физики ускорителей и радиационной медицины «Дозиметрия ионизирующих излучений» (36 часов, с 2012 г., ежегодно), ведет семинарские занятия по курсу «Общий курс физики» (36 часов, с 2008 г., ежегодно) на 1 курсе факультета фундаментальной медицины МГУ, читает поточный курс лекций «Физико-химические основы современного естествознания» для студентов 2 курса (36 часов, с 2013 г., ежегодно) и спецкурс «Физические основы психофизиологического эксперимента» (36 часов, с 2009 г., ежегодно) на 3 курсе факультета Психологии МГУ, курс лекций «Физические основы биоинженерии» (36 часов, с 2014 г., ежегодно) на факультете биоинженерии и биоинформатики МГУ для студентов 3 курса. Под ее руководством защищено 14 дипломных работ, а в 2022 году была защищена кандидатская диссертация по специальности 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Близнюк У.А. принимала участие в организации и проведении II и III Евразийских конгрессов по медицинской физике и инженерии в 2005 и 2010 годах, а также в

«Фестивалей науки» в 2009-2011 годах и научно-практического семинара «Ускорители для будущего России».

Тема диссертационной работы У.А. Близнюк посвящена разработке алгоритма планирования радиационной обработки биологических объектов, в основе которого лежит комплексный подход к повышению эффективности обработки биологических объектов. В диссертации представлены результаты исследования влияния параметров источников, применяемых при радиационной обработке биологических объектов, на однородность облучения биологического объекта с различными физическими характеристиками. Выявлены закономерности радиационно-химических превращений летучих органических соединений и биофизических изменений белков в биообъектах под воздействием излучения с различными параметрами. Определены биохимические вещества, которые могут быть использованы в качестве биомаркеров радиационного воздействия биологических объектов. Создан методический подход и даны практические рекомендации по выбору критериев определения оптимальных дозовых диапазонов радиационной обработки биообъектов, что позволит повысить эффективность радиационной обработки и расширить спектр обрабатываемых излучением биологических объектов.

Актуальность исследований У.А. Близнюк обусловлена необходимостью идентификации радиационного облучения продуктов питания во избежание вторичной антимикробной обработки, которая может повлиять на качество продукции. Существующие скрининговые и эталонные методики имеют ряд ограничений, связанных с длительной пробоподготовкой образцов, использованием сложного оборудования, имеются ограничения по чувствительности к дозам облучения менее 1 кГр.

Результаты работы имеют следующую теоретическую и практическую значимость:

1. В экспериментальных условиях установлены оптимальные диапазоны радиационной обработки различных продуктов, таких, как охлажденной говядины, индейки, курицы, семги, форели, клубней картофеля. Полученные результаты могут быть положены в основу разработки практических рекомендаций для дальнейшего промышленного использования радиационной обработки охлажденной мясной и рыбной продукции, и сельскохозяйственных культур.

2. На основании проведенных исследований могут быть установлены критерии выбора оптимальных диапазонов, источников, параметров радиационного воздействия для радиационной обработки различных категорий биологических объектов.

3. Разработаны рекомендации по применению модификаторов пучка электронов для увеличения однородности распределения поглощенной дозы в биологических объектах, облучаемых пучками ускоренных электронов с энергией от 4 МэВ до 10 МэВ.

4. Зависимости концентрации ряда летучих органических соединений, метмиоглобина в биологическом объекте от дозы облучения, а также зависимость количества потенциальных повреждений нативной структуры белка БСА в модельных системах от физических параметров радиационной обработки могут быть положены в основу разработки биодозиметров радиационной обработки биологических объектов.

5. Результаты применения кинетического флуориметрического метода «отпечатков пальцев» для различения облученных и необлученных биологических объектов могут быть использованы для разработки метода идентификации факта радиационной обработки объектов органического происхождения.

6. Представленные материалы используются в учебном процессе на физическом факультете МГУ в курсах дозиметрии, биофизики радиационных воздействий и радиобиологии, а также в образовательных программах повышения квалификации медицинских физиков и специалистов в области планирования радиационной обработки биообъектов.

Полученные У.А. Близнюк в диссертационной работе результаты являются пионерскими, относятся к специальности «Радиобиология» и состоят в следующем:

- (1) Разработан алгоритм планирования радиационной обработки биологических объектов, в основе которого лежит комплексный подход к повышению эффективности обработки биологических объектов, определяемой однородностью распределения поглощенной дозы по глубине объекта и микродозой, необходимой для повреждения биологической мишени, вероятностью взаимодействия излучения и биологической мишени данного типа в объекте, и неоднородностью радиочувствительности биологических мишеней в статистическом ансамбле к воздействию ионизирующего излучения.
- (2) Определен ряд летучих органических соединений альдегидов, а также белок миоглобин, которые могут выполнять роль маркеров радиационной обработки биологических объектов.
- (3) Установлены зависимости количества потенциальных повреждений нативной структуры белка бычьего сывороточного альбумина в модельных системах от физических параметров радиационной обработки (тип излучения, доза, мощность дозы) с помощью метода ферментативного гидролиза трипсином.
- (4) С использованием кинетического флуориметрического метода «отпечатков пальцев» обеспечивается возможность различить облученные и необлученные

биологические объекты после обработки ускоренными электронами и рентгеновским излучением в диапазоне доз от 100 Гр до 10000 Гр.

- (5) Предложены физико-математические модели, описывающие кинетику изменений микробиологических показателей биологического объекта, концентраций летучих органических соединений и концентрации метмиоглобина, образующихся в биологическом объекте во время облучения в диапазоне доз от 250 Гр до 10000 Гр и при хранении после облучения, учитывающие механизмы радиационно-химических превращений биомакромолекул и низкомолекулярных соединений в биологическом объекте за счет прямого и косвенного действия излучения, а также за счет бактериально-ферментативных процессов в биологических объектах.
- (6) Теоретически обосновано и экспериментально доказано, что для радиационной обработки семенного материала сельскохозяйственных культур с целью улучшения фитосанитарных показателей культур оптимальным излучением являются низкоэнергетические ускоренные электроны и низкоэнергетическое рентгеновское излучение, поскольку характерная глубина проникновения излучения  $L_{e,x}$  соответствует глубине залегания целевых мишеней (фитопатогенов)  $L_{цм}$  вблизи поверхности семенного материала, т.е.  $L_{e,x} \approx L_{цм}$ , что отвечает современным рекомендациям МАГАТЭ.

Результаты, полученные У.А. Близнюк в ходе выполнения диссертационной работы, опубликованы в 43 научных работах, из них 27 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах цитирования Web of Science и Scopus. У.А. Близнюк неоднократно докладывала свои результаты на российских и международных конференциях, а также принимала участие в работах по грантам РФФИ и РНФ.

За время подготовки диссертации У.А. Близнюк выросла в самостоятельного, заинтересованного, ответственно подходящего к работе исследователя. К настоящему времени она обладает всеми качествами, компетенциями и высокой квалификацией специалиста в области физики взаимодействия ионизирующего излучения с веществом и биологическими объектами, радиобиологии и дозиметрии, радиационной чувствительности биологических объектов, радиационного обеззараживания сельскохозяйственной продукции, готова к ведению и выполнению исследований на высоком мировом уровне и руководству научной работой коллектива.

Диссертационная работа У.А. Близнюк выполнена на высоком научном уровне, содержит результаты, имеющие научную и практическую ценность, представляет собой законченное исследование и отвечает требованиям, установленным Московским Государственным Университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.5.1 Радиобиология (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном

университете имени М.В. Ломоносова. Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно описывает результаты и выводы работы.

Считаю, что работа У.А. Близнюк без сомнения может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.5.1 Радиобиология (физико-математические науки).

Научный консультант,  
Заведующий кафедрой физики ускорителей  
и радиационной медицины  
д.ф.-м.н., профессор



А. П. Черняев

Подпись А.П. Черняева удостоверяю:

Учёный секретарь  
физического факультета МГУ,  
д.ф.-м.н, профессор

С. Ю. Стремоухов