



**Федеральное медико-биологическое агентство
Северский биофизический научный центр
Научный совет РАН по радиобиологии
Радиобиологическое общество РАН
Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН
Сибирский государственный медицинский университет**

МЕДИЦИНСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (МЕЕIR-VII)

**МАТЕРИАЛЫ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
посвящённой 65-летию образования
филиала № 2 Государственного научного центра –
института биофизики**

**21-22 марта 2023 года
Северск – Томск**

Спонсоры конференции:

АО "ТВЭЛ"



**ТВЭЛ
РОСАТОМ**

<https://www.tvel.ru/>

ТПК "САВА"



<https://tpksava.ru/>

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО
СЕВЕРСКИЙ БИОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО РАДИОБИОЛОГИИ
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО РАН
ТОМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР РАН
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

МЕДИЦИНСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Материалы VII Международной научно-практической конференции,
посвященной 65-летию образования филиала № 2
Государственного научного центра – института биофизики

21-22 марта 2023 года
Томск

**FEDERAL MEDICAL-BIOLOGICAL AGENCY
SEVERSK BIOPHYSICAL RESEARCH CENTER
SCIENTIFIC COUNCIL OF THE RUSSIAN ACADEMY
OF SCIENCES FOR RADIOBIOLOGY
RADIOBIOLOGICAL SOCIETY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
TOMSK NATIONAL RESEARCH MEDICAL CENTER
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN STATE MEDICAL UNIVERSITY**

MEDICAL AND ECOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION

Proceedings of the 7th International Scientific Conference,
dedicated to the 65th anniversary of the creation of branch No. 2
State Scientific Center – Institute of Biophysics

March 21-22, 2023
Tomsk

УДК 612.014.482(082)
ББК Р368я43
М 422

Рецензенты:

Тахауов Р.М., доктор медицинских наук, профессор кафедры организации здравоохранения и общественного здоровья ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России;
Скуридин В.С., доктор технических наук, профессор-консультант лаборатории № 31 ядерного реактора ИЯТШ ФГАОУ ВО НИ ТПУ

Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения: материалы М 422 VII Международной научно-практической конференции, 21-22 марта 2023 г., Томск / Отв. ред. Р.М. Тахауов. – Томск: ООО "Офсет Центр", 2023. – 203 с.

ISBN 978-5-6047568-3-6

В сборник материалов конференции включены работы специалистов разного профиля: врачей, биологов, экологов, физиков, инженеров, занимающихся исследованиями в области радиационной и ядерной медицины, радиобиологии, радиоэкологии, дозиметрии, радиационной гигиены, генетики, патофизиологии. Значительный интерес представляют работы по оценке воздействия ионизирующего излучения на состояние здоровья человека и объекты окружающей среды, совершенствованию регламентной системы обеспечения радиационной безопасности персонала объектов использования ионизирующего излучения и населения зон наблюдения, проведению радиационно-гигиенического мониторинга, разработке и трансляции тераностических методов ядерной медицины.

Редакционная коллегия: заслуженный врач Российской Федерации, д-р мед. наук, проф. Р.М. Тахауов (ответственный редактор), д-р биол. наук, доцент И.В. Мильто (ответственный секретарь), д-р биол. наук Н.В. Литвяков, д-р мед. наук, доцент Д.Е. Калинин, д-р тех. наук, проф. В.А. Лисин.

Все материалы печатаются в авторской редакции. Составители сборника не несут ответственности за содержание материалов, размещаемых в работах авторов. Ответственность за точность информации несут авторы публикуемых материалов.

УДК 612.014.482(082)
ББК Р368я43

ISBN 978-5-6047568-3-6

© Северский биофизический научный центр, 2023.
© Авторы, 2023.

УДК 612.014.482(082)
ББК Р368я43
М 422

Reviewers:

Takhauov R.M., Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Health Organization and Public Health, Siberian State Medical University of the Ministry of Health of Russia;
Skuridin V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor-Consultant of the Laboratory No. 31 of the Nuclear Reactor of the School of Nuclear Technology Engineering of the National Research Tomsk Polytechnic University

Medical and Ecological Effects of Ionizing Radiation: Proceedings of the 7th International Scientific Conference, March 21-22, 2023, Tomsk / Eds.: R.M. Takhauov (responsible editor). – Tomsk: LLC "Offset Center", 2023. – 203 p.

ISBN 978-5-6047568-3-6

The collection of conference materials includes works by specialists in various fields: doctors, biologists, ecologists, physicists, engineers involved in research in the field of radiation and nuclear medicine, radiobiology, radioecology, dosimetry, radiation hygiene, genetics, pathophysiology. Of considerable interest are works on assessing the impact of ionizing radiation on human health and environmental objects, improving the regulatory system for ensuring radiation safety of personnel at facilities using ionizing radiation and the population of observation zones, conducting radiation-hygienic monitoring, developing and broadcasting theranostic methods of nuclear medicine.

Editorial team: Honored Doctor of the Russian Federation, Dr. Med. Sc., Prof. R.M. Takhauov (responsible editor), Dr. Biol. Sc., Assoc. Prof. I.V. Milto (executive secretary), Dr. Biol. Sc. N.V. Litviakov, Dr. Med. Sc., Assoc. Prof. D.E. Kalinkin, Dr. Tech. Sc., Prof. V.A. Lisin.

All proceedings are published in the author's edition. The compilers of the collection are not responsible for the content of materials placed in the works of the authors. The authors of the published materials are responsible for the accuracy of the information.

УДК 612.014.482(082)
ББК Р368я43

ISBN 978-5-6047568-3-6

© Seversk Biophysical Research Center, 2023.
© The authors, 2023.

ПРИВЕТСТВИЯ УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

Дорогие коллеги!

От всей души приветствую участников конференции «Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения»!

Создание и становление Федерального медико-биологического агентства неразрывно связаны с обеспечением радиационной безопасности. В тяжелые послевоенные годы страна решала серьезные задачи по созданию ядерного щита и новой атомной отрасли промышленности, когда было необходимо изучить факторы воздействия радиации на здоровье людей и приступить к разработке комплекса защитных мероприятий на важнейших стратегических предприятиях.

Компетенции в сфере науки развивались на протяжении всего времени существования Агентства – формировались новые научные школы радиобиологии, радиационной медицины и гигиены, радиотоксикологии, космической медицины и другие.

Значение фундаментальных и прикладных биомедицинских исследований, ориентированных на изучение и внедрение в клиническую практику достижений ядерной и радиационной медицины, неуклонно возрастает. Достигнут существенный прогресс в ряде ключевых научных задач, включая такие актуальные направления, как гибридные и омиксные технологии, которые позволяют расширить традиционные представления о влиянии ионизирующего излучения на организм человека. Чрезвычайную научную ценность получила информация о влиянии малых доз ионизирующего излучения на человека, особенно при долговременном и профессиональном облучении.

Результаты работ, представленные в рамках сегодняшней конференции, имеют большое значение не только для обеспечения безопасности персонала объектов использования атомной энергии и населения, но и в целом для развития новых ядерных технологий в нашей стране.

Уважаемые коллеги, от всей души желаю вам крепкого здоровья и успехов в профессиональной деятельности!

В.И. Скворцова
Руководитель Федерального медико-биологического агентства

Глубокоуважаемые коллеги!

Мы живем в период постоянно возрастающей потребности в энергии. Ограниченность запасов углеводородного сырья и негативные экологические последствия его использования, побуждают Человечество к поиску новых и развитию альтернативных источников энергии. Среди последних наибольшим потенциалом обладает атомная индустрия, развитие которой динамично проходит в нашей стране: строятся новые предприятия, внедряются новые виды ядерного топлива и др. Этот процесс, наряду с позитивным экономическим эффектом, сопровождается нарастанием настороженности населения, экологических организаций и исследователей разного профиля, которая продиктована, в первую очередь, имеющимся печальным опытом аварийных ситуаций на объектах использования атомной энергии.

Для снижения в обществе озабоченности, связанной с развитием атомной отрасли, необходимо развивать научные исследования в этом направлении и обеспечивать популяризацию их результатов. Этой цели в полной мере соответствует Международная научно-практическая конференция «Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения», проводимая уже в седьмой раз.

Программа этой конференции посвящена оценке воздействия ионизирующего излучения на состояние здоровья человека – работников объектов использования атомной энергии и населения зон наблюдения, разработке средств профилактики и методов лечения радиогенных заболеваний, изучению отдаленных эффектов воздействия ионизирующего излучения на организм человека и многое другое.

Данная конференция, проводимая в г. Томске, является примером системного подхода к решению чрезвычайно сложных в научном, медицинском и социальном плане проблем по обеспечению стандартов радиационной безопасности.

В.Н. Пармон
академик РАН
Председатель Сибирского отделения РАН

Приветствую участников конференции в Томской области!

Для нас большая честь принимать столь представительную международную конференцию, собравшую ведущих учёных научно-исследовательских институтов и университетов России, руководителей и специалистов в области радиобиологии и радиационной медицины, представителей зарубежья.

Российская Федерация является признанным мировым лидером по уровню развития ядерных технологий. Специалисты в области радиобиологии и радиационной медицины вносят значимый вклад в развитие страны.

Международная научно-практическая конференция «Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения» посвящена фундаментальным и прикладным вопросам радиобиологии, радиоэкологии, радиационной и ядерной медицины, а также радиационной безопасности и общественного здоровья. Особенно хочется отметить важность подобных научных мероприятий для Томской области, где работает один из крупнейших в мире производственных комплексов атомной отрасли – Сибирский химический комбинат, реализуется проект «Прорыв».

Уверен, результаты конференции послужат решению важнейших задач по обеспечению национальной безопасности, повышению уровня безопасности персонала объектов атомной энергии, защите здоровья граждан, охране и восстановлению территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Желаю плодотворной работы!

В.В. Мазур
Губернатор Томской области

Глубокоуважаемые коллеги!

От имени Научного совета РАН по радиобиологии позвольте приветствовать Вас и пожелать успешного и плодотворного проведения этой важной научной конференции. Развитие современного общества немислимо без использования атомной энергии, и в этой связи все более актуальными становятся вопросы безопасности человека при использовании ионизирующих излучений. Прогресс в использовании ионизирующего излучения, безусловно, должен сочетаться с минимизацией его негативного воздействия на человека и биоту, совершенствованием норм радиационной безопасности, средств профилактики и лечения радиационных поражений. Фундаментальные радиобиологические исследования последних лет позволили глубоко понять механизмы радиационно-индуцированных эффектов, реализуемых на различных уровнях биологической организации. Особенно важно, что эти разработки касаются изучения медико-биологических эффектов влияния «малых» и «сверхмалых» доз ионизирующих излучений.

Проведение Международной научно-практической конференции «Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения», несомненно, будет способствовать решению многих существующих проблем радиобиологии, радиационной генетики, дозиметрии, радиоэкологии и радиационной безопасности.

Желаю участникам конференции успешной работы и новых достижений в области фундаментальной и прикладной радиобиологии.

Е.А. Красавин
член-корреспондент РАН
Председатель Научного совета по радиобиологии РАН

Глубокоуважаемые коллеги!

В современном мире чрезвычайную актуальность представляет проблема оценки воздействия техногенного ионизирующего излучения на состояние здоровья работников предприятий атомной отрасли и населения, проживающего вблизи радиационно значимых объектов.

В последние годы проблема оценки эффектов действия «малых» доз и многообразные неонкологические эффекты ионизирующего излучения вызывают повышенный интерес среди исследователей различных специальностей. Помимо заболеваний, обусловленных воздействием на организм человека ионизирующего излучения и являющихся радиогенными, накоплено достаточно много сведений о его участии в индукции и развитии патологических состояний, которые ранее не относились к группе радиационно-индуцированных (например, болезни системы кровообращения, эндокринные болезни и др.).

В связи с вышеизложенным, проведение научных исследований по изучению роли техногенных факторов (радиационного, химического и пр.) в развитии патологических состояний, а также в заболеваемости и смертности человека, представляется не только целесообразным, но и весьма актуальным направлением современной радиобиологии человека.

Желаю всем участникам успешной работы и рад, что Международная научно-практическая конференция «Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения» становится одной из традиционных научных площадок, где заинтересованно и эффективно обсуждаются многочисленные радиационные медико-биологические влияния.

И.Б. Ушаков
академик РАН

Президент Радиобиологического общества РАН

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПУЧКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Булавская А.А.¹, Бушмина Е.А.¹, Григорьева А.А.¹, Милойчикова И.А.^{1,2}, Стучебров С.Г.¹

¹Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН, г. Томск, Россия

bulavskay@tpu.ru

В последнее время наблюдается существенный рост количества центров лучевой терапии, что обусловлено технологическим скачком в области разработки медицинских ускорителей. Научно-исследовательские разработки в области лучевой терапии ведутся по нескольким основным направлениям, таким как поиск наиболее эффективных методов лечения при максимальном поражении опухоли и сохранении окружающих здоровых тканей, а также сокращение времени лечения путем увеличения разовой дозы за один сеанс облучения. При любом из этих подходов возникает необходимость в наличии высокоточных систем мониторинга характеристик пучков во время облучения. Такие параметры как энергия пучка, положение его центра, поперечные размеры и форма профиля медицинского пучка имеют решающее значение для увеличения эффективности процедур лучевой терапии. Кроме этого, существует необходимость постоянного контроля соответствия дозы, доставленной пациенту во время сеанса облучения, запланированной. Как следствие, внимание научного сообщества сфокусировано на разработке, создании и внедрении новых технологических решений в области детектирования характеристик медицинских пучков ионизирующего излучения.

В современной практике для определения поперечного профиля медицинского пучка используются в основном матричные детекторы, пленочные дозиметры и люминофорные экраны. Такие методы обладают рядом недостатков. Подходы, основанные на использовании распределенных в исследуемой плоскости детекторов, имеют низкое разрешение; основанные на использовании дозиметрических пленок и люминесцентных детекторов, ограничены дозовыми характеристиками пучка. Методы, в основе которых лежит использование каких-либо расходных материалов, изменяющих свои характеристики в процессе облучения пучком, влекут за собой ряд проблем, таких как необходимость контроля наличия и характеристик материалов в разных партиях изготовления. Также описанные методы измерения пространственных параметров пучка оказывают на него слишком большое воздействие, в большинстве случаев полностью его поглощая, что делает невозможным определения характеристик поля в процессе облучения мишени. Таким образом, существует необходимость в разработке способа, который позволит создать устройство, способное быстро, с высоким разрешением, в режиме реального времени измерять поперечный профиль пучка сложной формы с минимальными потерями первичного излучения.

В рамках этой работы был предложен способ определения поперечного профиля медицинских пучков ионизирующего излучения, заключающийся в многоугловом сканировании пучка с последующей математической реконструкцией полученных данных. Проведена экспериментальная апробация разработанного способа на медицинских пучках ионизирующего излучения. Результаты измерений сравнивались с данными, полученными с помощью пленочных дозиметров. Определено совпадение характера полученных профилей, что свидетельствует о перспективности предложенного подхода к диагностике медицинских пучков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-79-00252).

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ РЕГИОНАРНЫХ МЕТАСТАЗОВ С РАДИОФАРМПРЕПАРАТОМ $^{177}\text{Lu-DOТА-PSMA}$

Александрова О.П.¹, Клепов А.Н.²

¹АНО ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск, Россия

²НПП «Дионис», Россия, Калужская область, г. Обнинск, Россия

oksana-dolya@mail.ru

Настоящая разработка мотивирована неудовлетворительным состоянием дозиметрического обеспечения современной радионуклидной терапии (РНТ) метастазов с радиофармпрепаратами (РФП) класса $^{177}\text{Lu-PSMA}$. Представленные в многочисленных зарубежных исследованиях значения итоговых терапевтических поглощенных доз (ТПД), оказываются недопустимо низки для тех метастазов, которые демонстрируют полное «излечение» в ходе РНТ: как правило, это 20-40 Гр, очень редко – до 60 Гр. В то же время многолетний мировой опыт РНТ метастазов различной этиологии показывает, что нижний порог их лучевого «поражения» составляет не менее 80 Гр. Несоответствие полученных дозиметрических характеристик подтвержденным радиобиологическим данным до сих пор не обосновано. В данной работе предложены подходы, позволяющие преодолеть недостатки традиционно применяемых дозиметрических схем и выявить причины указанного несоответствия. В проведенной разработке использованы результаты клинических исследований РНТ в МРНЦ им. А.Ф. Цыба пациента Л. по поводу метастазов рака предстательной железы: накопление-выведение РФП $^{177}\text{Lu-DOТА-PSMA}$ в организме пациента при первом и втором (через 6 мес.) курсе РНТ с активностями РФП – 4,99 и 7,59 ГБк соответственно. Полученные повременные скintiграфические и ОФЭКТ-изображения (на гамма-камере Discovery NM/CT 670) были использованы для определения параметров метаболизма РФП в организме пациента на основе предложенных авторами линейных (ЛКОМ) и нелинейных компартаментных моделей и численных методов их идентификации. В нелинейной постановке была задействована дозовая линейно-квадратичная модель (ЛКМ) кинетики активных фракций каждого из метастазов, учитывающая репопуляцию опухолевых клеток при облучении по схеме Lea-Catcheside. Поскольку параметры ЛКМ для исследуемых метастазов изначально не известны, предложена методика их обобщенной численной идентификации для различных уровней ТПД, равных или превышающих 80 Гр, которые, как предполагается, могут действительно реализоваться только в активных фракциях «вылеченных» метастазов. При этом, были изучены возможности как беспорогового (по ТПД) варианта ЛКМ, так и порогового.

Анализ полученных данных позволяет каждый из исходных метастазов условно разделить на две фракции, параметры кинетики которых идентифицируются отдельно: первая – «вылеченная» после первого этапа РНТ фракция метастаза, отнесенная нами к высоко-активному кластеру (ВАК) опухолевых клеток (ОК); вторая – низко-активный кластер (НАК) неповрежденных ОК. По данной схеме были идентифицированы параметры кинетики РФП в ряде органов пациента и в указанных кластерах метастазов: на первое введение РФП реализована 19-мерная ЛКОМ, на второе введение – 14-мерная. Установлено, что ТПД в критических органах не превышают допустимых значений и при первом и при втором введении. Интервал ТПД, реализованных в НАК метастазов, для обоих введений составляет [0,16-3] Гр. ТПД, рассчитанные для ВАК всех метастазов, (первое введение) по традиционной схеме, не выходят за интервал [11-38] Гр, что явно неудовлетворительно. Согласно предложенной методике одновременно с параметрами используемой пороговой ЛКМ численно идентифицированы массовые доли активных фракций (МДАФ) ВАК для различных возможных уровней ТПД в изучаемых метастазах пациента: 80, 120, 160 и 200 Гр. В частности, здесь получено: при ТПД = 80 Гр МДАФ в ВАК всех метастазов могут варьировать только в пределах интервала [0,11-0,42]. Таким образом, введение в дозиметрическую схему факторов учета МДАФ в ВАК позволяет устранить указанное выше несоответствие между рассчитанными ТПД и радиобиологическими данными.

РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ОСНОВНЫМИ ГИСТОЛОГИЧЕСКИМИ ТИПАМИ НЕМЕЛАНОМНОГО РАКА КОЖИ

Банникова М.В., Азизова Т.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Злокачественные новообразования (ЗНО) кожи включают меланому и немеланомные раки кожи (НМРК), основными гистологическими типами которого являются базально-клеточный рак (БКР), плоскоклеточный рак (ПКР) и рак придатков кожи. Основными факторами, способствующими развитию ЗНО кожи, являются пол, возраст, генетическая предрасположенность, особенности фенотипа кожи, ультрафиолетовое облучение. Показан повышенный риск развития ЗНО кожи в когортах лиц, подвергшихся различным видам облучения.

Целью настоящего исследования являлась оценка риска заболеваемости основными гистологическими типами НМРК, а именно БКР и ПКР, в когорте работников ПО «Маяк», подвергшихся профессиональному пролонгированному облучению с низкой мощностью дозы.

Исследуемая когорта включала всех работников ПО «Маяк», впервые нанятых в период с 1948 г. по 1982 г., независимо от пола, возраста, национальной принадлежности, профессии, продолжительности работы и других характеристик, – 22 377 человек (25,4 % – женщины). Период наблюдения за когортой начинался от даты найма на один из основных заводов и продолжался до первого из следующих событий: даты установления диагноза ЗНО кожи; даты смерти; 31 декабря 2018 г. для живых работников, проживающих в г. Озерске (резиденты); даты «последней медицинской информации» для работников-резидентов с неизвестным жизненным статусом и для тех работников, кто выехал из г. Озерска (мигранты). В исследовании использованы поглощенные кожей дозы внешнего гамма-излучения дозиметрической системы работников ПО «Маяк». Средняя суммарная поглощенная в коже доза внешнего гамма-излучения у мужчин составила $0,53 \pm 0,76$ Гр, у женщин – $0,42 \pm 0,64$ Гр.

Анализ включал оценку относительных рисков (ОР) и избыточных относительных рисков на единицу дозы (ИОР/Гр), которые рассчитывались методом максимального правдоподобия с помощью модуля AMFIT программы EPICURE. На первом этапе изучено влияние нерадиационных факторов на заболеваемость БКР и ПКР, а затем – влияние внешнего гамма-облучения с учетом нерадиационных факторов.

В изучаемой когорте работников за весь период наблюдения были зарегистрированы 295 случаев БКР, 48 случаев ПКР и 5 случаев раков придатков кожи.

Заболеваемость БКР и ПКР у женщин была ниже при сравнении с мужчинами. Заболеваемость БКР и ПКР росла с увеличением возраста, как у мужчин, так и у женщин. Заболеваемость БКР у мужчин, впервые нанятых на ПО «Маяк» в возрасте 30 лет и старше, была ниже при сравнении с теми, кто был нанят в возрасте моложе 20 лет. Не выявлено влияния календарного периода установления диагноза, календарного периода найма на предприятие, типа производства и продолжительности работы, курения и употребления алкоголя на заболеваемость БКР и ПКР в изучаемой когорте работников, как у мужчин, так и у женщин. Обнаружен повышенный риск заболеваемости БКР у работников, подвергшихся внешнему облучению гамма-излучением в суммарной поглощенной в коже дозе более 2,0 Гр, при сравнении с референс-категорией (суммарная доза 0-0,05 Гр). Риск заболеваемости ПКР был ниже 1,0 во всех категориях суммарных доз внешнего облучения гамма-излучением, но оценки риска были статистически незначимыми.

Обнаружена зависимость заболеваемости БКР от суммарной дозы внешнего облучения гамма-излучением; ИОР/Гр = 0,57 (95 ДИ: 0,24; 1,06). Не выявлено зависимости заболеваемости ПКР от дозы внешнего облучения.

ОБЛУЧЕНИЕ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ ПОЛОСТИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ И КЛИНИКЕ

Назаренко И.В.¹, Веялкина Н.Н.², Дворник Ю.В.², Белая Л.А.¹, Медведева Е.А.², Аксененко О.С.²

¹УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь

²ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», г. Гомель, Беларусь

ludok_1985@mail.ru

В последние годы постоянно возрастает влияние ионизирующего излучения на организм человека, в частности, на грудную клетку, в связи с ростом объемов диагностических и терапевтических медицинских процедур. Данный вопрос становится особенно актуальным из-за применения лучевых методов исследования для диагностики COVID-19.

Целью данной работы была оценка дозовой нагрузки у пациентов, подвергших лучевому воздействию на органы грудной клетки и экспериментальное моделирование локального облучения грудного отдела на мышах с оценкой эффекта в остром постлучевом периоде.

Клиническая часть исследования проведена на базе Гомельской центральной городской клинической поликлиники на цифровом аппарате «Пульмоскан», также использовался аппарат «Космос-535». Всего была проведена оценка 14 пациентам с подтвержденным диагнозом COVID-19 и 8 пациентам, у которых отсутствовало данное заболевание, а было лишь подозрение на него.

Эксперименты проведены на лабораторных мышах линии C57Bl/6 обоего пола в возрасте 2,5-3 месяца. Каждая группа состояла из 15 самок и 15 самцов. Мышей подвергали облучению с помощью рентгеновской установки биологического назначения X-Rad 320 Precision X-ray Inc.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics 22. Результаты анализа считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

В результате исследования у 11 пациентов с COVID-19 было проведено по 3 рентгенофлюорографических исследования с интервалом в 7 сут. (суммарная доза облучения 0,045 мЗв), также 7 пациентам из данной группы было проведено одно исследование с помощью рентгеновского компьютерного томографа (дополнительная доза облучения 4,7 мЗв). Помимо этого, мы выявили, что 3 пациентам делали рентгенографическое исследование (3 рентгеновских снимка), что составило суммарную дозу лучевой нагрузки – 0,48 мЗв.

Животные всех групп через неделю после начала эксперимента имели сниженный прирост массы тела по сравнению с контролем, однако не значимо, что может быть обусловлено стрессовым состоянием.

После лучевого воздействия отмечено повышение относительной массы легкого. На 30 сут. эксперимента относительная масса легкого у облученных животных составила $0,713 \pm 0,02$ % при $0,670 \pm 0,02$ % в контроле.

В группе животных, которых 5 раз подвергали облучению в дозе 1 Гр, на 7 сут. наблюдали снижение содержания лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина в крови. К 30 сут. данные показатели восстанавливаются практически до уровня животных группы контроля.

На гистологических препаратах легкого животных на 7 сут. после облучения в суммарной дозе 5 Гр наблюдали умеренный отек межальвеолярных перегородок, на некоторых участках отмечали гиперплазию пневмоцитов II типа и моноцитарную инфильтрацию. К 14 сут. данные изменения были минимальными, а к 30 сут. практически не отмечались.

При сравнении пациентов с COVID-19 не наблюдали видимых последствий изменений органов грудной полости. Фракционированное облучение грудного отдела мышей в суммарной дозе 5 Гр не вызывает критичного поражения внутренних органов, находящихся в зоне облучения в остром постлучевом периоде, что позволит оценить отдаленные эффекты облучения. Данное исследование необходимо продолжить на большей выборке испытуемых для объективизации полученных данных.

**ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО РАДИОЗАЩИТНОГО ПРЕПАРАТА
НА ОСНОВЕ ВЕЩЕСТВ МИКРОБНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
НА НЕСПЕЦИФИЧЕСКУЮ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ ОРГАНИЗМА**

Вагин К.Н., Рахматуллина Г.И., Ишмухаметов К.Т., Гайнутдинов Т.Р., Галлямова М.Ю.
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Россия
vnivi@vnivi.ru

Важнейшим фактором защиты организма от воздействия патологических агентов, в т. ч. и ионизирующего излучения, является состояние факторов неспецифической резистентности и способы ее стимуляции с помощью биоактиваторов. Проведены опыты по изучению влияния испытуемого радиозащитного препарата на основе веществ микробного происхождения на факторы неспецифической резистентности (ФНР) организма в эксперименте.

Опыты проводили на 20 белых крысах массой 180-200 г, разделенных на 2 группы по 10 животных в каждой. Животным 1 группы однократно подкожно вводили испытуемый препарат (составные компоненты: продукты метаболизма *E.coli* (компонент I), микробные клетки *E.coli* (компонент II), микробные клетки *B.bifidum* (компонент III), продукты метаболизма *B.bifidum* (компонент IV), продукты метаболизма *B.subtilis* (компонент V), высокодисперсная фракция природного минерального сорбента – бентонита (компонент VI) и природный биополимер из подмора пчел – аписан (компонент VII)) в дозе 11 мг/кг в объеме 1,0 см³. Животным 2 группы в аналогичных условиях вводили физиологический раствор, и она служила группой контроля. Через 10, 20 и 30 суток после введения препарата у крыс брали пробы крови, в которых изучали концентрацию общего белка, альбуминов, λ-, β- и γ-глобулинов, бактерицидной, лизоцимной активности сыворотки крови, функциональную активность перитонеальных макрофагов и нейтрофилов.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице.

Таблица. Влияние радиозащитной композиции на ФНР белых крыс

Показатель	Значение ФНС на срок исследования, сут.					
	10		20		30	
	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль
Общий белок, г/л	5,92 ± 0,01	5,45 ± 0,05	5,98 ± 0,03	5,51 ± 0,02	6,15 ± 0,01	5,58 ± 0,03
Альбумины, г/л	2,26 ± 0,05	2,00 ± 0,07	2,34 ± 0,01	2,0 ± 10,03	2,37 ± 0,05	2,11 ± 0,01
λ-глобулины, г/л	1,69 ± 0,07	1,47 ± 0,03	1,71 ± 0,01	1,53 ± 0,05	1,73 ± 0,06	1,54 ± 0,09
β-глобулины, г/л	1,15 ± 0,03	0,97 ± 0,01	1,17 ± 0,05	0,95 ± 0,01	1,18 ± 0,07	0,98 ± 0,09
γ-глобулины, г/л	1,09 ± 0,07	0,98 ± 0,03	1,10 ± 0,01	0,96 ± 0,05	1,12 ± 0,09	0,95 ± 0,01
Бактерицидная активность, %	49,5 ± 2,09	46,9 ± 0,31	49,9 ± 1,35	48,1 ± 0,61	50,9 ± 1,37	48,01 ± 0,59
Лизоцимная активность, отн./ед.	15,0 ± 0,47	4,9 ± 0,53	15,2 ± 0,35	14,5 ± 0,58	15,7 ± 0,39	14,7 ± 1,03
ФАН, %	60,1 ± 0,45	58,1 ± 0,37	62,1 ± 0,73	58,7 ± 0,13	61,6 ± 0,49	58,3 ± 0,31
ФЦ, ед	2,19 ± 0,01	2,07 ± 0,03	2,21 ± 0,05	2,17 ± 0,09	2,27 ± 0,03	2,15 ± 0,09
ФИ, ед	3,70 ± 0,09	3,59 ± 0,05	3,72 ± 0,03	3,66 ± 0,07	3,72 ± 0,05	3,66 ± 0,09

Примечание: ФАН – фагоцитарная активность нейтрофилов; ФЦ – фагоцитарное число; ФИ – фагоцитарный индекс.

Установлено, что однократное введение в организм композиционного радиозащитного препарата на основе веществ микробного происхождения в дозе 11 мг/кг оказывает стимулирующее действие на факторы неспецифической резистентности организма, увеличивая содержание общего белка на 10 %; альбуминов – на 12 %, λ-глобулинов – на 12,3 %, β-глобулинов – на 12,04 %, γ-глобулинов – на 11,79 %, ФАН – на 14,55 %, ФЦ – на 10,61 %, ФИ – на 10,2 % по сравнению с аналогичными показателями животных группы контроля.

МИКРОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У МЫШЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДАФС-25К И «МОНКЛАВИТ-1» НА ФОНЕ ОСТРОГО РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ

Васильев Р.О., Бревнова С.А., Югатова Н.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,
г. Санкт-Петербург, Россия
veterenar4ik@mail.ru

Целью исследования было изучить динамику показателей диаметра фолликулов и высоты фолликулярного эпителия в щитовидной железе мышей, подвергнутых тотальному внешнему однократному воздействию гамма-излучения на фоне применения препаратов «Монклавит-1» и ДАФС-25к. Гистологические препараты щитовидной железы крыс изготавливали по стандартной методике, окрашивали гематоксилином и эозином. Для моделирования острого радиационного поражения мышей подвергали общему внешнему однократному воздействию гамма-излучения ^{137}Cs в дозе 6,0 Гр, при мощности дозы 0,99 Гр/мин на установке «ИГУР-1». ДАФС-25к в дозе 1,3 мг/кг вводили внутривенно, однократно за 3 ч до облучения. «Монклавит-1» вводили внутривенно в виде водного раствора, через 12 ч после облучения, а затем с интервалом 48 ч, предварительно смешав с водой в соотношении 1:1, объемом 0,3 мл/животное, на одно введение. Экспериментальные данные подвергали статистической обработке с применением U-критерия Манна – Уитни и H-критерия Краскела – Уоллиса, статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Было установлено, что комбинированное применение ДАФС-25к и «Монклавит-1» определяет уменьшение диаметра фолликулов щитовидной железы в период с 5 сут. по 30 сут. в среднем на 30 % ($p < 0,05$) на фоне увеличения высоты тиреоцитов в среднем в 1,9 раза ($p < 0,05$) относительно контрольных значений (рис. 1). Аналогичную, но менее выраженную динамику микроморфометрических показателей отмечали в щитовидной железе мышей при применении ДАФС-25к без дотаций йода: диаметр фолликулов щитовидной железы к 12 сут. и 30 сут. был в среднем на 25 % ($p < 0,05$) ниже относительно контрольных значений на фоне увеличения высоты тиреоцитов в 1,6 раза ($p < 0,05$). Таким образом, при остром радиационном поражении происходило выраженное угнетение функции щитовидной железы, которое проявлялось в уплощении фолликулярного эпителия и увеличении диаметра фолликулов. Применение ДАФС-25к и «Монклавит-1» оказывало тиреостабилизирующее действие, что проявлялось незначительным увеличением диаметра фолликулов и высоты тиреоцитов относительно контрольных животных. Органическая форма селена в дозе, близкой к токсической, на фоне постоянного поступления йода определяла функциональную активность щитовидной железы при остром радиационном поражении посредством купирования непрямого звена патогенеза лучевой патологии и опосредованного действия ионизирующих излучений, реализуемого через нервную и эндокринную системы.

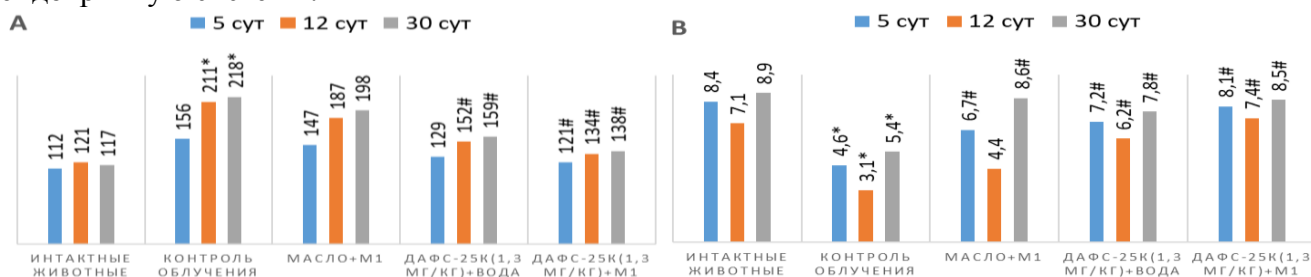


Рис. 1. Микроморфометрические показатели щитовидной железы у мышей на фоне острого радиационного поражения и использования препаратов ДАФС-25к и «Монклавит-1» (М1)

А – диаметр фолликулов щитовидной железы мышей, мкм (Me, n = 10);

В – высота тиреоцитов в фолликулах щитовидной железы, мкм (Me, n = 10).

* – статистическая значимость относительно интактных животных ($p < 0,05$);

– статистическая значимость различий относительно животных контрольной группы ($p < 0,05$).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДЛУЧЕВОГО ИНКУБИРОВАНИЯ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА В РАСТВОРЕ ПРЕПАРАТА «ДЕМАНОЛ»

Выпова Е.Р.¹, Купцова П.С.^{1,2}, Комарова Л.Н.¹, Берсенева А.А.¹,
Балдов Д.А.¹, Лапенко А.К.¹, Скачилова С.Я.³

¹Обнинский институт атомной энергетики – филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия

²Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия

³Всесоюзный научный центр по безопасности биологически активных веществ,
г. Старая Купавна, Россия
elena.vypova@yandex.ru

Развитие осложнений является одной из важных проблем в радиобиологии и клинической онкологии при применении лучевой терапии для лечения злокачественных новообразований. При облучении негативному действию подвергаются не только опухолевые клетки, но и нормальные клетки, окружающие опухоль, особенно при глубокорасположенных новообразованиях, куда невозможно локально подвести источник ионизирующего излучения.

В связи с этим актуальным является применение радиопротекторов для защиты нормальных клеток от ионизирующего излучения при лучевой терапии. Перспективными соединениями, которые могут использоваться в качестве радиопротекторов, являются такие соединения, которые способны активировать репарационные процессы в клетках и обладающие антиоксидантными свойствами. Одним из таких препаратов является «Деманол». Важным критерием применимости соединения в качестве радиопротектора является интервал времени его применения перед облучением. Одни соединения эффективны при применении за 24 часа, другие показывают наибольший радиозащитный потенциал при добавлении их за 30 минут до облучения.

Целью работы является определение оптимального времени предлучевого применения препарата «Деманол» для наиболее полного проявления радиопротекторного эффекта при действии гамма-излучения.

Объектом исследования была выбрана культура фибробластов человека (hTERT). Культивирование проводилось по стандартной методике. Концентрация исследуемого соединения – 1 000 мкМ, была подобрана, основываясь на результатах тестов (время удвоения, МТТ-тест) на токсичность препарата, проведенных ранее. Облучение проводили на уникальной научной установке «Гамма-установка радиационного облучения «ГУР-120», г. Обнинск, ВНИИРАЭ (источник ионизирующего излучения ⁶⁰Со, E_{ср} = 1,25 МэВ). Мощность дозы составила 0,9 Гр/мин. Дозы облучения: 6; 8 и 12 Гр. Клетки инкубировали с препаратом 0,5; 3 и 24 часа до облучения и затем облучали. Контролем служили интактные клетки. Радиозащитный эффект оценивали по показателю клоногенной активности.

В результате проведенного исследования показано, что препарат «Деманол» при добавлении его за 0,5 часа до облучения γ -излучением в дозах 6; 8 и 12 Гр проявляет наименьший радиозащитный эффект на фибробласты человека. Наибольшее радиопротекторное действие было отмечено для исследуемого соединения, инкубированного с клетками 24 часа до облучения. Фактор изменения дозы при этом составил 2,2.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что выбранное нами соединение «Деманол» проявляет радиопротекторные свойства в отношении фибробластов человека; оптимальное время добавления исследуемого соединения к клеткам до облучения составляет 24 часа.

Представляется перспективным дальнейшее исследование радиопротекторного потенциала «Деманола» при других типах ионизирующего излучения и на более широком спектре клеточных линий.

ОЦЕНКА БЕЗВРЕДНОСТИ И ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕЧЕБНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ *ESCHERICHIA COLI*

Гайнутдинов Т.Р.

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Россия
vnivi@mail.ru

Полученные лечебные средства на основе облученных в дозе 30 кГр микроорганизмов *E. coli* (штаммы *KB-1* и *ПЛ-6*) исследовали на реактогенность, безвредность и токсичность в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 31926-2013. Перед проведением испытаний из флаконов облученных дозе 30 кГр культур *E. coli* шт. *ПЛ-6* и *KB-1* готовили смешанную пробу, отбирая из них по 32,5 см³ препарата, и переносили в стерильный флакон, перед применением содержимое флакона тщательно перемешивали.

Для определения реактогенности, опыты проводили на 20 белых мышах обоего пола массой 18-21 г, разделенных на 2 группы (по 10 животных в каждой). Животным 1-й группы исследуемый препарат вводили в дозе 2×10^8 микробных клеток/0,2 см³ однократно подкожно. Животным 2-й группы препараты не вводили, они служили биологическим контролем. Оценку местного действия осуществляли на основании данных ежедневных семисуточных наблюдений. Установлено, что применение препарата никаких реакций не вызывало: животные были активны, охотно принимали корм и воду, адекватно реагировали на естественные раздражители, что свидетельствует об ареактогенности препарата и переносимости ими терапевтической дозы.

Согласно вышеуказанному регламентирующему документу ГОСТ 31926-2013 проводили оценку безвредности и токсичности радиоинaktivированных в дозе 30,0 кГр культур *E. coli* шт. *ПЛ-6* и *KB-1*. Опыты проводили на 110 здоровых белых мышах обоего пола массой 19-21 г, разделенных на 11 групп, по 10 животных в каждой. Перед испытанием смешанную культуру перемешивали и в разных концентрациях вводили животным в объемах 0,1 см³ (1×10^8 микробных клеток на голову (м.к./голову)) – 1-я группа, 0,2 см³ (2×10^8 м.к./голову) – 2-я, 0,3 см³ (3×10^8 м.к./голову) – 3-я, 0,4 см³ (4×10^8 м.к./голову) – 4-я, 0,5 см³ (5×10^8 м.к./голову) – 5-я, 0,6 см³ (6×10^8 м.к./голову) – 6-я, 0,7 см³ (7×10^8 м.к./голову) – 7-я, 0,8 см³ (8×10^8 м.к./голову) – 8-я, 0,9 см³ (9×10^8 м.к./голову) – 9-я, 1,0 см³ (1×10^9 м.к./голову) – 10-я группа, животным 11-й группы препараты не вводили, они служили биологическим контролем.

Установлено, что испытуемые инаktivированные облучением гамма-излучением в дозе 30,0 кГр бактериальные культуры *E. coli* шт. *ПЛ-6* и *KB-1* при подкожном введении в объемах от 0,1 до 1,0 см³, содержащие от 100 млн. до 1 млрд. микробных клеток, не оказывали неблагоприятного воздействия на животных, не вызывали гибели их в течение 14 сут наблюдения, то есть препараты не обладают токсичностью.

В следующей серии опытов изучали противорадиационную активность полученных средств. Опыты проводили на беспородных половозрелых белых мышах с массой тела 18-20 г, разделенных на группы по 5 животных в каждой. Облученным в дозе 7,7 Гр белым мышам 1-й группы вводили радиоинaktivированную культуру *E. coli* шт. *KB-1*, облученным животным 2-й группы вводили радиоинaktivированную культуру *E. coli* шт. *ПЛ-6*, подвергнутых облучению животных 3-й группы не лечили, а мышей 4-й группы не лечили и не облучали – они служили контролем облучения и биологическим контролем соответственно.

Результаты исследований показали высокую противорадиационную эффективность микробных препаратов, инъецированных животным 1-й группы, выживаемость которых была 80 %, во 2-й группе – 60 % при средней продолжительности жизни (СПЖ) 18,0 и 15,0 сут соответственно, а в группе контроля облучения – 20 % при СПЖ 14,5 суток.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ *ESCHERICHIA COLI*

Гайнутдинов Т.Р., Вагин К.Н., Курбангалеев Я.М.,
Плотникова Э.М. Идрисов А.М., Шарифуллина Д.Т.

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Россия
vnivi@mail.ru

Препарат микробного происхождения получали, используя производственный штамм *E. coli* ПЛ-6 и патогенный штамм *E. coli* КВ-1. Культуры выращивали на мясо-пептонном бульоне (МПБ) при температуре 37 °С в течение 3 суток. Выращенную культуру центрифугировали при 3 000 об/мин в течение 40-50 мин, надосадочную жидкость декантировали, осадок доводили дистиллированной водой по стандарту мутности по Л.А. Тарасевичу до 10 ед. (1 млрд./мл). Из выращенных культур готовили мазки и окрашивали их по Граму для определения чистоты и видовой принадлежности микроорганизмов. Приготовленную взвесь разливали в стерильные флаконы на 10, 50 или 100 мл, укупоривали резиновыми пробками и обкатывали алюминиевыми колпачками, маркируя с указанием штамма, дозы облучения и даты. Облучение микробного материала проводили на гамма-установке «Исследователь», источник ⁶⁰Со, мощность поглощенной дозы 1,028 Гр/сек, в диапазонах поглощенных доз от 7,5 до 30,0 кГр с междозовыми интервалами 2,5 и 5,0 кГр. Степень инактивации гамма-облученных культур *E. coli* определяли путем высева их на мясо-пептонный агар (МПА) и термостатировали в течение 168 ч, регистрируя наличие или отсутствие роста микроорганизмов. Проведенными исследованиями установлено, что сроки инактивации и степень роста облученных культур *E. coli* шт. ПЛ-6 и КВ-1 находятся в прямой зависимости от дозы радиационного воздействия, их полная инактивация наступает при облучении в дозе 25,0 кГр. При микроскопии мазков, сделанных из необлученных и облученных в разных дозах культур *E. coli* шт. КВ-1 и ПЛ-6, выявили грамтрицательные неспорообразующие палочки, располагающиеся в мазках одиночно.

Радиоинактивированные в дозе 30,0 кГр культуры *E. coli* шт. ПЛ-6 и КВ-1 использовали в качестве противорадиационного препарата. В первой серии опытов определяли стерильность в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 28085 путем высева испытуемого средства на питательные среды. Установлено, что роста бактерий, грибов и микоплазм в инкубированных жидких питательных средах: Китта-Тароцци, Сабуро, Хейфлика, МПБ и твердых питательных средах: Сабуро, Хейфлика, МПА не наблюдалось. Следовательно, изучаемые препараты стерильны.

В следующей серии опытов проводили исследования по установлению оптимальной терапевтической дозы препаратов облученных в дозе 30 кГр культур *E. coli* шт. КВ-1 и ПЛ-6. Опыты проводили на 120 белых мышах обоего пола массой 18-20 г, разделенных на 12 групп по 10 животных в каждой. Животных облучали в дозе 7,7 Гр (ЛД_{80-100/30}) и через 3 сут после облучения однократно подкожно вводили испытуемые препараты по следующей схеме: 1-я группа – 0,1 см³ (*E. coli* шт. КВ-1), 2-я – 0,2 см³ (*E. coli* шт. КВ-1), 3-я – 0,3 см³ (*E. coli* шт. КВ-1), 4-я – 0,4 см³ (*E. coli* шт. КВ-1), 5-я – 0,5 см³ (*E. coli* шт. КВ-1), 6-я – 0,1 см³ (*E. coli* шт. ПЛ-6), 7-я – 0,2 см³ (*E. coli* шт. ПЛ-6), 8-я – 0,3 см³ (*E. coli* шт. ПЛ-6), 9-я – 0,4 см³ (*E. coli* шт. ПЛ-6), 10-я – 0,5 см³ (*E. coli* шт. ПЛ-6). Облученным белым мышам 11-й группы и необлученным 12-й группы препараты не вводили, они служили контролем облучения и биологическим контролем соответственно. Оценку результатов исследований проводили по выживаемости животных.

Установлено, что выживаемость летально облученных белых мышей в 1-й группе составила 60 %, во 2-й – 70 %, в 3-й – 70 %, в 4-й – 70 %, в 5-й – 60 %, в 6-й – 50 %, в 7-й – 60 %, в 8-й – 60 %, в 9-й – 60 %, в 10-й – 50 %, в 11-й – 20 % и в 12-й – 100 %.

Таким образом, оптимальная терапевтическая доза препаратов *E. coli* шт. ПЛ-6 и КВ-1 – 0,2 см³, которая содержит 2×10⁸ микробных клеток *E. coli*. В пересчете на 1 кг живой массы доза препарата составляет 0,1×10⁹ микробных клеток/кг.

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕЗАРЯДКИ ГАММА-ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «THERATRON»

Горбунова О.Г.

Завод радиоактивных изотопов,
ФГУП «Производственное объединение «Маяк», г. Озерск, Россия
mayak@po-mayak.ru

Завод радиоактивных изотопов ФГУП «ПО «Маяк» является одним из крупнейших в мире производителей радионуклидных источников ионизирующего излучения (ИИИ), тепла, а также радиоактивных препаратов. Ежегодно завод выпускает источники и упаковки с препаратами, которые широко используются в промышленности и научных исследованиях, сельском хозяйстве и медицине. Производство продукции на заводе полностью проходит все этапы технологического цикла, начиная с обращения с исходным радиоактивным сырьем, изготовления и контроля источников и упаковок с препаратами, и заканчивая их загрузкой в контейнеры для последующей отправки заказчику. Все транспортные упаковочные комплексы (УКТ), находящиеся на балансе завода радиоактивных изотопов, имеют сертификаты-разрешения на конструкцию УКТ и перевозку в них радиоактивных материалов, выданные Госкорпорацией по атомной энергии «Росатом», являющейся государственным компетентным органом Российской Федерации (РФ) по ядерной и радиационной безопасности при транспортировании ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них.

Радиоактивные вещества могут также загружаться в УКТ, предоставленные российским или иностранным заказчиком, при этом на УКТ иностранной конструкции оформляется российский сертификат-разрешение на транспортирование радиоактивного материала по территории РФ.

ФГУП «ПО «Маяк» изготавливает ряд ИИИ на основе радионуклида ^{60}Co , используемых в медицинской практике в составе аппликаторов внутрисполостного облучения и мощных гамма-терапевтических аппаратов (ГТА) для диагностики и лечения заболеваний сосудов, сердца, органов желудочно-кишечного тракта, эндокринной системы, суставов и др.

Гамма-терапия была и остается базовой частью лучевой терапии. На сегодняшний день в РФ подавляющее большинство эксплуатируемых ГТА зарубежного производства. Перезарядка некоторых типов ГТА производится путем демонтажа радиационной головки с последующей транспортировкой зарубежным производителям и обратно (это занимает до двух месяцев). Пропускная способность одного ГТА составляет 100-120 человек в день. Ограничение радиологической помощи населению регионов РФ, безусловно, приведет к тяжелым социально-экономическим последствиям.

Использование отечественных ИИИ производства ФГУП «ПО «Маяк» позволило бы устранить зависимость от иностранных производителей и существенно сократить простои ГТА. Завод радиоактивных изотопов ФГУП «ПО «Маяк» выпускает ИИИ, применяемые в гамма-терапевтических аппаратах типов РОКУС, TERABALT, Theratron Equinox, АГАТ и их модификаций, а также в установках ГАММА-НОЖ.

На сегодняшний день в РФ эксплуатируются ГТА зарубежного производства для дистанционного облучения типа Theratron, в которые установлены источники с радионуклидом ^{60}Co типа С-146 производства Nordion Inc, Канада. Использование отечественных ИИИ производства ФГУП «ПО «Маяк» позволяет устранить зависимость от иностранных производителей и существенно сократить затраты онкологических центров, связанных с перезарядкой и утилизацией ИИИ. Это очень важный шаг в условиях существующей геополитической обстановки и ФГУП «ПО «Маяк» готово к производству таких источников, типа М60К56 и М60К57.

Российские онкологические центры смогут в полной мере эксплуатировать данные ИИИ в ГТА типа Theratron и оказывать своевременную помощь онкологическим пациентам. В свою очередь, ФГУП «ПО «Маяк» готово производить ИИИ и принимать при этом на утилизацию отработавшие ИИИ из медицинских организаций.

ЛЕКАРСТВЕННАЯ ТЕРАПИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕСТНЫХ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Дешевой Ю.Б., Насонова Т.А., Добрынина О.А., Лебедев В.Г., Астрелина Т.А., Самойлов А.С.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
fmbc-fmba@bk.ru

Изучали лечебный эффект препаратов нормализующих кровоснабжение и трофику облученных тканей, а также комплексного антибиотика широкого спектра действия, на течение тяжелых местных лучевых поражений для обоснования клинического использования этих средств.

Тяжелые местные лучевые поражения сопровождаются развитием длительно незаживающих язв. Основное значение в патогенезе развития лучевой язвы кожи, наряду с гибелью клеток эпидермиса, отводится патологическим изменениям в стенке кровеносных сосудов и нарушениям микроциркуляции, что приводит к значительному ухудшению трофики облученных тканей. Лучевые язвы часто подвергаются инфицированию. Вследствие этого применение антибиотиков, а также препаратов, улучшающих микроциркуляцию и трофику облученных тканей, может способствовать заживлению лучевых язв. В качестве таких средств использовали комплексный ветеринарный антибиотик – левотетрасульфид форте, а также пентоксифиллин и детралекс для улучшения трофики тканей.

Крысы инбредной линии Wistar-Kyoto подвергали локальному воздействию рентгеновского излучения в подвздошно-поясничной области спины в дозе 110 Гр (напряжение на трубке 30 кВ, ток 6,1 мА, фильтр А1 толщиной 0,1 мм), при мощности дозы 20,0 Гр/мин. Площадь поля облучения составляла 8,5 см². Радиационное воздействие вызывало образование длительно (до 3,5-4 месяцев) не заживающих лучевых язв кожи без критической лучевой нагрузки на подлежащие ткани. Морфологические исследования показали, что зона некроза кожи (с максимумом в центре зоны облучения) полностью формировалась к 23-27-м суткам после локального облучения. Для лечения лучевых поражений совместно применяли антибиотик – левотетрасульфид форте (внутрибрюшинно в дозе 0,1 мл/кг), а также средства, влияющие на кровоснабжение и трофику облученных тканей – пентоксифиллин (внутрибрюшинно, 50,0 мг/кг) и детралекс (перорально, 75,0 мг/кг). Препараты вводили один раз в день, последовательно один за другим, ежедневно, с 28-х по 48-е сутки после облучения, то есть в период, когда лучевая язва сформировалась и начиналась ее постепенное заживление. Тяжесть лучевого поражения кожи и эффекты терапии оценивали в динамике по клиническим проявлениям и с помощью планиметрии.

Установлено, что у контрольных облученных крыс к 3-4-й неделе после локального воздействия ионизирующего излучения образовывались обширные лучевые язвы, площадь которых в период с 28-х по 84-е сутки колебалась от 2,9 до 2,2 см². В дальнейшем наблюдалось постепенное, вялотекущее их заживление. Длительное применение лекарственных средств приводило к заметному увеличению скорости заживления лучевых язв. Так, показано, что при совместном введении пентоксифиллина, детралекса и левотетрасульфида форте площадь лучевых язв у леченных животных в период с 98-х по 126-е сутки после облучения была на 26-80 % меньше по сравнению с облученным контролем.

Таким образом, в экспериментах на крысах показана возможность успешного применения комплексного антибиотика в сочетании с препаратами, улучшающими кровоснабжение и трофику облученных тканей, при лечении тяжелых местных лучевых поражений.

ГЕНИСТЕИН – ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ АКТИВНАЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ СУБСТАНЦИЯ И ЛЕКАРСТВЕННОЕ СРЕДСТВО

Жигалина А.А., Стрелова О.Ю., Гребенюк А.Н.

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
zhigalina.anna@spcru.ru

Флавоноиды – обширный класс низкомолекулярных многоатомных фенолов растительного происхождения. В основе биологического действия фенольных соединений лежат их антиоксидантные свойства. Одним из представителей этой группы является генистеин. В ранее проведенных исследованиях выполнена оценка антиоксидантных свойств отечественного синтетического генистеина на моделях *in vitro* и *in vivo*.

Выявлено, что генистеин обладает антиоксидантной активностью, обусловленной ингибированием цепного радикального процесса перекисного окисления липидов. Выступая в роли донора электрона по отношению к радикальному реагенту, генистеин переходит в свою окисленную форму, тем самым ингибирует иницирование, в случае захвата гидроксильного радикала или анион-радикала кислорода, а также в случае уже начавшегося процесса цепного радикального окисления, реагируя с алкилперекисными радикалами. Генистеин активно вступает в реакции хелатирования с металлами переменной валентности, которые могут иницировать процесс перекисного окисления липидов.

Генистеин способен к ингибированию некоторых прооксидантных ферментов и/или активация других эндогенных антиоксидантов. Ряд авторов выделяют как отдельный механизм антиоксидантного действия стабилизацию мембран путем изменения их текучести вследствие способности флавоноидов проникать в липидный бислой мембран. В исследованиях *in vitro* генистеин обладает сильными антиоксидантными свойствами, являясь «ловушкой» для свободных радикалов, а также хелатором металлов с переменной валентностью.

Согласно существующим представлениям о патогенезе лучевого поражения, ведущую роль в механизме его развития играет оксидативный стресс, проявляющийся в резком усилении продукции активных метаболитов кислорода, инициации перекисного окисления липидов, с одной стороны, и снижении активности различных компонентов антиоксидантной системы – с другой. К числу наиболее активных препаратов из группы антиоксидантов относится генистеин. В доклинических испытаниях генистеин показал умеренную противолучевую активность, повышая при этом выживаемость облученных животных при рентгеновском облучении. Кроме того, введение генистеина приводило к повышению содержания восстановленного глутатиона в клетках эндотелия человека, а также к увеличению активности каталазы, супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы в коже, тонкой кишке, печени, почках и легких экспериментальных животных. Следовательно, генистеин является потенциальной активной фармацевтической субстанцией для разработки лекарственного средства антидотной терапии лечения отравлений хлорированными углеводородами и радиопротектором при лучевой терапии онкологических заболеваний.

В настоящее время проводится совершенствование методики синтеза и разработка показателей качества генистеина для аттестации стандартного образца. Определены показатели идентификации, чистоты и разработана методика количественного определения. Актуальным является определение фармакокинетических показателей генистеина как перспективной фармацевтической субстанции.

ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРА МЕТРОНИДАЗОЛА В КОМБИНАЦИИ С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ СВЕТОМ

Жураковская Г.П., Купцова П.С.

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия
zhgalina@mail.ru

Открытие в 70-х годах прошлого столетия явления фотореактивации стало свидетельством присутствия ультрафиолетовых (УФ)-подобных повреждений у облученных ионизирующим излучением клеток. Это новое знание заставило исследователей вспомнить, что наряду с ионизацией молекул и атомов при действии ионизирующего излучения имеет место процесс возбуждения молекул, которым долгие годы пренебрегали. Другими словами, конечный биологический эффект ионизирующего излучения можно рассматривать как комбинированное действие процессов, специфичных как для ионизирующего излучения (ионизация), так и для неионизирующего оптического излучения (возбуждение). Разделить эти два действия ионизирующего излучения невозможно. Однако учитывать специфичность каждого из этих процессов необходимо, особенно, когда речь идет о поиске новых химических соединений, модифицирующих результат действия ионизирующего излучения и способных снизить дозовую радиационную нагрузку при лечении онкологических заболеваний. При выполнении работы была поставлена задача, выяснить характер проявления свойств известного радиосенсибилизатора метронидазола при реализации процесса возбуждения, в нашем случае моделируемого неионизирующим излучением оптического диапазона – УФ-светом.

Цель работы – определить характер модифицирующих свойств радиосенсибилизатора метронидазола при облучении про- и эукариотических клеток УФ-светом.

Материал и методы. Объект исследования – бактериальные клетки *E. coli* B_{s-1}; дрожжевые клетки *S. cerevisia* XS800, тест – клоногенная активность. Модифицирующее действие оценивали с помощью фактора изменения дозы (ФИД). Химическое вещество: радиосенсибилизатор метронидазол, концентрация 1 мг/мл для бактериальных клеток и 5 мг/мл для дрожжевых клеток. Воздействие УФ-светом (254 нм, интенсивность 4,5 Вт/м²) осуществляли в открытых стеклянных кюветах как без химического препарата, так и в его присутствии.

Результаты. Применили три схемы комбинированного действия химиопрепарата и УФ-света: 1) до облучения клетки выдерживали в растворе метронидазола 30 мин, что не приводило к гибели дрожжевых клеток и снижало выживаемость бактериальных клеток на 70 %; 2) после облучения клетки выдерживали в растворе метронидазола 30 мин; 3) воздействие излучения и химического препарата осуществляли одновременно. Влияние метронидазола на облучение УФ-светом дрожжевых и бактериальных клеток оказалось устойчиво протекторным. ФИД составил 40 и 22 для дрожжей и бактерий, соответственно, в условиях примененной схемы 1, не менее 2 для *E. coli* B_{s-1} – схема 2 и более 10 при одновременном воздействии на бактериальные клетки – схема 3.

Заключение. Полученные результаты оказались весьма неожиданными: радиосенсибилизатор метронидазол проявил устойчивые протекторные свойства по отношению к УФ-свету. Хорошо известно, что радиосенсибилизирующее действие метронидазола для дрожжевых и бактериальных клеток характеризуется ФИД, не превышающим 2. Причиной такого небольшого эффекта может оказаться сильное защитное действие препарата по отношению к УФ-подобным повреждениям, возникающим при действии ионизирующего излучения. Продолжающиеся исследования обнаруживают не эксклюзивность метронидазола в проявлении протекторных свойств по отношению к УФ-излучению. В связи с этим возникает проблема поиска химических веществ, которые смогут сенсибилизировать как процессы ионизации, так и возбуждения молекул и атомов при действии ионизирующего излучения, что позволит существенно увеличить эффективность применения химических радиосенсибилизаторов при радиотерапии.

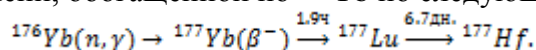
РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ НАРАБАТЫВАЕМОЙ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЛЮТЕЦИЯ-177 БЕЗ НОСИТЕЛЯ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

Зукау В.В., Ушаков И.А., Стасюк Е.С., Нестеров Е.А., Доняева Е.С.

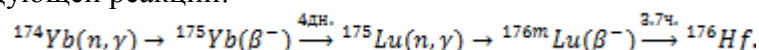
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
jiaozu@tpu.ru

В современном мире радионуклидная терапия является одним из наиболее эффективных методов лечения онкологических заболеваний. Разработки, направленные на создание агентов, селективных в отношении простат-специфического мембранного антигена (ПСМА, PSMA), основаны на использовании таких радионуклидов как ^{68}Ga , ^{177}Lu , ^{161}Tb , ^{43}Sc , ^{44}Sc , ^{47}Sc , и др. Преимуществом использования ^{177}Lu является его достаточно низкое токсикологическое действие на организм пациента. Лютеций-177 ($T_{1/2} = 6,948$ сут.) является β -эмиттером с максимальной энергией бета-излучения 497,8 кэВ с выходом 78,6 %, гамма-излучение ^{177}Lu составляет 113 кэВ и 208 кэВ с выходом 6,7 и 11% соответственно. Максимальная энергия гамма-излучения составляет 321 кэВ с выходом 0,2 %. Целью работы является нахождение оптимальных условий облучения на реакторе ИРТ-Т и выдержки иттербиевой мишени для получения ^{177}Lu с максимальной удельной активностью.

Радионуклид ^{177}Lu нарабатывается в активной зоне ядерного реактора путем нейтронного облучения иттербиевой мишени, обогащенной по ^{176}Yb по следующей реакции:



Для получения высоких удельных активностей ^{177}Lu (теоретическая удельная активность составляет ~ 4.1 ТБк/мг), особое внимание должно быть уделено количеству лютеция в мишени, а также количеству стабильного нуклида ^{174}Yb , из которого образуется стабильный нуклид ^{175}Lu по следующей реакции:



Для теоретического расчета использовалось классическое уравнение учитывающее наработку, распад и выгорание нарабатываемого лютеция-177 во времени.

Расчет наработки активности ^{177}Lu производили по нейтронному спектру, содержащему 200 групп, экспериментального канала, расположенного в центре активной зоны реактора ИРТ-Т. Вычисление наработки активности, проводили с учетом самопоглощения излучения и выгорания образующихся радионуклидов. Дополнительно рассчитывался спектр нейтронов в центральном канале, и полученные данные сравнивались с экспериментальными данными, полученными из активационных детекторов. Ядерно-физическая модель состоит из ячейки с облучаемой иттербиевой мишени и источника с заданным спектром вокруг ячейки. Расчет производился с учетом распада радионуклидов после окончания облучения с целью нахождения оптимального времени выдержки мишени, регламентируемого удельной активностью образца, с одной стороны, и нормами радиационной безопасности, с другой.

Экспериментальное определение наработки ^{177}Lu из иттербиевой мишени с последующим определением удельной активности, осуществлялось путем облучения мишени, выдержки и последующего цикла выделения ^{177}Lu из мишени. Определяли активность ^{177}Lu в аликвотной части на гамма-спектрометрическом комплексе Canberra детектором GC-2018, затем в аликвотной части, разбавленной до 3 мл бидистиллированной водой, определяли объемную концентрацию лютеция с помощью атомно-эмиссионного спектрометра ICPE-9000 Shimadzu. Полученные результаты сравнивались с данными нейтронно-активационного анализа высушенной аликвоты ^{177}Lu .

НЕЙТРОНОЗАХВАТНАЯ ТЕРАПИЯ В НОВОСИБИРСКЕ И ТОМСКЕ

Каныгин В.В.^{1,2}, Кичигин А.И.¹, Завьялов Е.Л.^{2,3}, Соловьева О.И.^{2,3}, Разумов И.А.^{2,3},
Гусельникова Т.Я.^{3,4}, Цыганкова А.Р.^{3,4}, Заборонок А.А.⁵, Бутикова Е.А.², Каныгин Н.В.²,
Лукичев Д.А.², Прохорова Е.С.², Наймушин А.Г.⁶, Аникин М.Н.⁶, Сычева Т.В.^{1,2}, Таскаев С.Ю.^{1,2}

¹Институт ядерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

³Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

⁴Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

⁵Университет Цукуба, г. Цукуба, Япония

⁶Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

kanigin@mail.ru

Нейтронзахватная терапия (НЗТ) является уникальной формой адьювантной терапии при различных видах злокачественных опухолей. Основное преимущество НЗТ заключается в избирательном уничтожении опухолевых клеток за счет энергии ядерной реакции. Необходимым условием является повышенное накопление различных видов препаратов для НЗТ в опухоли. Для проведения НЗТ оптимальным является обогащенный ¹⁰B препарат или борсодержащие наночастицы, также могут быть использованы препараты гадолиния и лития. После оказанной правительством поддержки развития клинических исследований бор-нейтронзахватной терапии (БНЗТ) онкологических заболеваний в РФ, институт ядерной физики СО РАН (ИЯФ) приступил к изготовлению источника нейтронов для Национального медицинского исследовательского центра онкологии имени Н.Н. Блохина.

Лаборатория ядерной и инновационной медицины Новосибирского государственного университета проводит доклинические исследования по выявлению радиобиологических эффектов НЗТ на нормальных и опухолевых культурах клеток человека, лабораторных животных SPF-статуса с гетеротопическими и ортотопическими ксенотрансплантатами опухолей человека, а также домашних животных (кошках и собаках) со спонтанными злокачественными опухолями. В качестве источника нейтронов в Новосибирске используется ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией в институте ядерной физики СО РАН. В качестве источника нейтронов в Томске используется горизонтальный канал ГЭК-1 исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т. В качестве препаратов для НЗТ используются как стандартные борфенилаланин и боркапнат, так и новые борсодержащие носители (наночастицы бора, пегилированные липосомы), а также новые борсодержащие препараты, синтезированные и зарегистрированные в реестре лекарственных средств РФ, препараты гадолиния и лития.

В результате проведенных нами исследований были определены оптимальные параметры проведения НЗТ на ускорительном источнике ИЯФ и реакторе ТПУ. Перспективная эффективность БНЗТ в отношении ряда злокачественных опухолей была показана на клеточных линиях и лабораторных животных с ксенотрансплантатами опухолей. С использованием новых подходов в методике БНЗТ, была достигнута длительная ремиссия опухолей у лабораторных животных. После проведения БНЗТ животным со спонтанными опухолями в большинстве случаев отмечен регресс опухоли, улучшение клинической картины и увеличение предполагаемого времени продолжительности и качества жизни животных.

Доклинические исследования НЗТ в России вносят вклад в подготовку к клиническим испытаниям лечения злокачественных опухолей человека и предполагают потенциальную возможность ее использования в ветеринарии. Использование НЗТ для лечения спонтанных опухолей у домашних животных позволяет наиболее близко имитировать сложную природу опухоли у человека и обеспечивать адекватную связь между трансляционным исследованием и будущим клиническим применением метода. Дальнейшее развитие исследований НЗТ направлено на повышение эффективности метода за счет поиска и изучения свойств новых препаратов, способных избирательно накапливаться в опухоли. Наличие возможности использования уникального ускорительного источника нейтронов в ИЯФ и исследовательского реактора ТПУ, позволяет провести подобные исследования одними из первых в мире.

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ РАДИЯ-226
И ЕГО ОБЛУЧЕНИЕ НЕЙТРОННЫМ ПОЛЕМ В РЕАКТОРЕ
ТИПА ИРТ-Т С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИЯ-223**

Капитонов А.Б.¹, Неволин Н.Р.¹, Сохорева В.В.¹, Пластун С.А.¹, Большаков А.М.¹,
Черепнев М.С.¹, Кузнецов М.С.¹, Семенов А.С.², Малютин В.М.¹, Зукау В.В.¹, Кабанов Д.В.¹,
Ворошилов Ф.А.¹, Маренкова Е.А.¹, Безденежных И.В.¹

¹Томский политехнический университет, г. Томск, Россия,
abk14@tpu.ru; nrm5@tpu.ru; sokhoreva@tpu.ru; kamikaze@tpu.ru; bolshakov@tpu.ru;
maxcherepnev@tpu.ru; kms@tpu.ru; mvm@tpu.ru; zukau@tpu.ru; kabanovdv@tpu.ru;
fvoroshilov@tpu.ru; eam33@tpu.ru; biv_spm@mail.ru

²АО «ТомскНИПИнефть», г. Томск, Россия,
semenovas@tpu.ru

В России рак предстательной железы занимает второе место среди всех злокачественных новообразований, выявленных у мужчин. Приблизительно у 20 % пациентов, страдающих раком предстательной железы, обнаружены метастазы, что существенно уменьшает вероятность выздоровления. Однако радий-223 может обеспечить разрушение метастазов в костях, повышая шансы на ремиссию и увеличивая продолжительность жизни пациента, несмотря на наличие заболевания.

Этот препарат способен задерживаться в метастазах в костях и селективно оказывать воздействие на опухоль, уничтожая опухолевые клетки. Кроме того, радий-223 может облегчать боль и имеет низкую токсичность. В отличие от многих других радиофармпрепаратов, пациент не представляет опасности для окружающих сразу после приема радия-223 и не требует изоляции после его применения.

Для проведения эксперимента были взяты растворы бария, урана/тория и радия-226, с целью их осаждения на мишень электрохимическим способом. При прохождении постоянного электрического тока через вышеупомянутые растворы, целевое вещество осаждалось на катоде в виде мишени, которая в дальнейшем была подвергнута нейтронному облучению, в результате которого получили основное действующее вещество препарата – радий-223.

В результате осаждения электрохимическим методом бария, урана/тория, ближайших аналогов радия, был проведен эксперимент непосредственно с радием-226, в результате чего на катоде в виде мишени из нержавеющей стали был осажден радий-226.

В результате исследования был разработан метод электрохимического осаждения радия-226 для дальнейшего получения на его основе радия-223.

**РАДИАЦИОННАЯ МЕТАБОЛОМИКА:
АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Квачева Ю.Е., Андросова А.А., Шинкарев С.М.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
fmbc@fmbamail.ru

Современный этап развития радиационной медицины актуализирует исследования по разработке научных основ новых методологических подходов к биологической дозиметрии и лабораторной диагностике нового поколения, кардинальным образом отличающихся от применяемых в настоящее время методик «золотого стандарта» (цитогенетические исследования, «кривые» динамики показателей крови и др.), требующих проведения инвазивных (т. е. связанных с проникновением через естественные барьеры организма) процедур отбора биоматериала, а также значительного времени для их обработки.

Альтернативу классическим подходам способны составить активно развивающиеся омиксные технологии (геномика, транскриптомика, протеомика и др.). Одной из наиболее перспективных среди них представляется радиационная метаболомика, дополнительным

преимуществом которой является ее практикоориентированность. В отличие от других омиксных дисциплин, оценивающих ожидаемые («что может произойти») результаты радиационно-индуцированных изменений экспрессии генов (геномика), синтеза РНК (транскриптомика) и белков (протеомика), метаболомика изучает реализованные («что уже произошло») эффекты изменений обмена веществ. В этой связи исследования метаболома (совокупности низкомолекулярных продуктов метаболизма), осуществляемые на основе прямого масс-спектрометрического анализа легкодоступных биосубстратов, получаемых с помощью неинвазивных (моча, слюна, себум, церумен, пот и т. п.) или малоинвазивных (капиллярная кровь из пальца) процедур, способны предоставить реальную возможность в сжатые сроки (фактически в режиме реального времени) и с высокой точностью определять индивидуальные дозовые нагрузки радиационного воздействия (персональная дозиметрия).

Наряду с исследованиями дозиметрической валидности метаболомного профилирования, его результаты рассматриваются как многообещающие в отношении разработки современных диагностических, прогностических, предиктивных и фармакодинамических биомаркеров радиационных поражений. Диагностические метаболомные биомаркеры призваны обеспечить быструю диагностику степени тяжести поражения; прогностические – оценить уровни риска развития осложнений; предиктивные – рассчитать вероятность формирования потенциальных долгосрочных последствий, включая их ткане- и органоспецифичные виды; фармакодинамические биомаркеры – делать выводы о наличии/отсутствии эффекта фармакотерапии у данного пациента. В настоящее время исследованиями по направлению радиационной метаболомики охвачены более 400 продуктов обмена веществ, среди которых наиболее часто обнаруживаемыми и подтвержденными как в экспериментах на животных различных биологических видов, так и в наблюдениях за облученными пациентами, являются цитруллин, лимонная кислота, креатин, таурин, карнитин, ксантин, креатинин, гипоксантин, мочевая кислота и треонин.

В целом внедрение высокопроизводительных инструментов биологической дозиметрии и лабораторной диагностики нового поколения предоставит реальные преимущества на качественно новом уровне производить оценку последствий радиационных воздействий в отношении персонала атомной отрасли в условиях работы в штатном режиме и при аварийных ситуациях, а также мониторинга здоровья населения, проживающего в регионах размещения радиационно опасных объектов. Исследования в области радиационной метаболомики в перспективе открывают также возможности по разработке новых эффективных и практически приемлемых средств для ликвидации медико-санитарных последствий радиационных аварий и оказания медицинской помощи пострадавшим с применением инновационных терапевтических технологий (фармакометаболомика, метаболическое репрограммирование и др.).

**ВНЕДРЕНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО ПРЕПАРАТА
НА ОСНОВЕ ХЛОРИДА РАДИЯ-223 В КЛИНИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ
ЦЕНТРА ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА РОССИИ**

Удалов Ю.Д., Маякова Е.В., Сычев П.В., Козыльков А.В., Мальцева Т.Ю., Кайдаш Ю.А.

ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России, Дмитровград, Россия

kozylkovav@fvcmrmba.ru

В настоящее время особый интерес представляет применение радиоизотопного препарата радия-223 хлорида у пациентов с костными метастазами при кастрационно-резистентном раке предстательной железы без висцеральных метастазов. Радия хлорид испускает альфа-частицы и имеет период полураспада 11,4 суток. Радиоактивный распад радия-223 происходит до свинца-207 и состоит из шести звеньев цепочки короткоживущих дочерних изотопов и сопровождается испусканием альфа-, бета- и гамма-частиц с разной вероятностью эмиссии и величиной энергии распада. Величина энергии α -излучения составляет 95,3 % (диапазон энергии 5,0-7,5 МэВ). Механизм действия препарата на основе радия-223 хлорида проявляется в его воздействии на

очаги костного поражения α -частицами. Препарат имитирует многочисленные особенности кальция, воздействуя на участки усиленного ремоделирования кости в костных метастазах и вокруг них, образуя комплексное соединение с минералом костной ткани – гидроксипатитом. Высокое линейное значение энергии переноса α -частиц (80 КэВ/мкм) приводит к значительной частоте разрыва двухцепочечной молекулы ДНК, вызывая цитотоксический эффект. На моделях *in vivo* было доказано дополнительное воздействие препарата на микроокружение опухоли, включая остеокласты и остеобласты, что способствовало его эффективности. Диапазон действия α -частиц радия хлорида менее 100 мкм, что минимизирует повреждение окружающих здоровых тканей.

В последнее время в связи с ужесточением санкционной политики стран Европейского Союза в отношении Российской Федерации, а также определенными недружественными действиями транзитных государств, поставки наиболее часто применяемого препарата Xofigo® (хлорид радия-223) фирмы Bayer AG (ФРГ) часто задерживаются, а впоследствии могут быть не доставлены вовсе. В связи с востребованностью применения препарата хлорида радия-223 в клинической практике, в ФНКЦРиО принято решение о возможности применения в организации аналога препарата Xofigo®, изготовленного из отечественного сырья в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 12.11.2020 № 1218н «Об утверждении Порядка изготовления радиофармацевтических лекарственных препаратов непосредственно в медицинских организациях». Стратегически важным фактором явилось близкое расположение АО «ГНЦ НИИАР» и ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России, что позволило значительно сократить логистические и временные затраты на доставку сырья. В середине 2022 г. в ФНКЦРиО была разработана и утверждена необходимая технологическая и нормативная документация для изготовления препарата на основе реакторного сырья, производимого АО «ГНЦ НИИАР». С середины 2022 г. по настоящее время на базе Центра ядерной медицины ФНКЦРиО налажено регулярное изготовление, стерилизация, контроль качества и фасовка разработанного препарата на основе радия хлорида на индивидуальные дозы, а также его клиническое применение в рамках научно-исследовательской работы, выполняемой в рамках государственного задания ФМБА России. Согласно полученным предварительным результатам исследования можно утверждать, что изготавливаемый препарат соответствует предъявляемым государственным нормативным требованиям и не уступает по функциональным возможностям препарату Xofigo® (Bayer AG).

Внедрение отечественного препарата хлорида радия-223 является важным шагом в импортозамещении радиофармацевтических лекарственных препаратов в Российской Федерации, так как позволяет не только уменьшить последствия нарушения поставок препарата Xofigo® из-за рубежа, но и значительно снизить стоимость получаемого препарата за счет возможности максимально уменьшить потери активности препарата при значительном сокращении времени транспортировки.

СРАВНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ИОНОВ ^{12}C И ^{60}Co В СОЧЕТАНИИ С АНТИБИОТИКОМ АНТРАЦИКЛИНОВОГО РЯДА *IN VITRO*

Мельникова А.А., Комарова Л.Н.

Обнинский институт атомной энергетики – филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия
angelik_melnikova@mail.ru

Онкологическое заболевание нейробластома проявляет различное клиническое поведение, варьирующееся от спонтанной регрессии до широко распространенного метастатического заболевания. В протоколах лечения гиперплоидных опухолей, нейробластом групп низкого и промежуточного риска применяется препарат доксорубицин, который может сочетаться с циклофосфамидом, карбоплатином и этопозидом, а также в комбинации с лучевой терапией.

Экспериментальная и медицинская радиология нацелены на поиск новых перспективных способов лечения злокачественных новообразований. Ведущим методом лечения опухолевых заболеваний признается лучевая терапия, главная цель которой состоит в уничтожении опухоли с минимальным поражающим действием на окружающие нормальные ткани. В некоторых случаях лучевая терапия с использованием фотонов и электронов может быть неэффективной вследствие того, что излучение не может быть подведено к очагу достаточно локально. Терапия протонными и углеродными пучками признана на сегодня наиболее эффективной и прецизионной формой лучевой терапии глубоко расположенных опухолей, в том числе радиорезистентных. При прохождении через вещество тяжелые заряженные частицы теряют свою кинетическую энергию из-за ионизации атомов. Глубинное распределение поглощенной дозы носит название кривой Брэгга и происходит следующим образом: вначале доза медленно возрастает с глубиной, и затем следует резкий дозный максимум («пик Брэгга»), затем поглощенная доза быстро падает до нуля.

Целью настоящей работы являлось выявление закономерностей комбинированного действия ионизирующего излучения (ионы ^{12}C , ^{60}Co) и противоопухолевого антибиотика антрациклинового ряда на опухолевых и неопухолевых клетках человека. Объектами исследования являлись клеточные линии: hTERT (теломеризованные фибробласты человека), SK-N-BE(2) (клетки нейробластомы).

Продемонстрировано, что комбинированное действие тяжелых ионов и доксорубицина на клетки нейробластомы носит антагонистический характер при дозах 1 и 2 Гр. Причина такой зависимости может заключаться в формировании летальных и сублетальных повреждений преимущественно только посредством воздействия доксорубицина. Для клеток фибробластов человека линии hTERT действие доксорубицина оказывает выраженное цитотоксическое действие и проявляется в виде двукратного увеличения времени, за которое популяция клеток увеличится вдвое.

В ходе проведения исследования получены новые результаты о комбинированном действии применяемых агентов на опухолевые клетки *in vitro*, что имеет важное практическое и теоретическое значение для понимания механизма сочетанного воздействия ионизирующего излучения и химиопрепарата доксорубицина.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ИЗДЕЛИЯМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Милойчикова И.А.^{1,2}, Булавская А.А.¹, Бушмина Е.А.¹,
Григорьева А.А.¹, Сорокина А.А.¹, Стучебров С.Г.¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²Научно-исследовательский институт онкологии Томского НИМЦ РАН, г. Томск, Россия
miloichikova@tpu.ru

Лучевая терапия является одним из основных методов в современном комплексе подходов к лечению злокачественных новообразований. В российской и мировой практике этот вид высокотехнологичных процедур применяется при лечении большинства пациентов. Как известно, целью лучевой терапии является разрушение как можно большего количества опухолевых клеток, с нанесением минимального вреда окружающим их здоровым клеткам. В зоне облучения ионизирующее излучение повреждает генетический материал как злокачественных клеток, что препятствует их дальнейшему росту и делению, так и нормальных клеток, что приводит к замедлению восстановительного процесса. Некорректное формирование объема мишени может привести к возникновению рецидива в случае недооблучения очага, или к острым постлучевым реакциям в случае переоблучения. На решение данной проблемы и нахождение компромисса, направленно тщательное проведение планирования лечения и формирования оптимального распределения дозы в патологическом очаге.

Современные клинические линейные ускорители способны проводить облучение, как пучками тормозного фотонного излучения, так и электронными пучками. Однако на практике наибольшее применение нашло фотонное излучение за счет наличия специальных систем формирования поля облучения, позволяющих с заданной точностью создать распределение дозы, повторяющее форму опухоли. На этом фоне электронное облучение не нашло такого повсеместного распространения, несмотря на имеющиеся преимущества как, например, возможность управления глубиной проникновения частиц и положением максимума дозы облучения в тканях за счет выбора энергии пучка и резкого падения дозы облучения за максимумом, что существенно снижает повреждения близлежащих здоровых тканей. Существующее ограничение применения электронного облучения вызвано необходимостью создания для каждого пациента на этапе планирования облучения дополнительных индивидуальных формирующих пучков устройств для каждой ориентации облучателя.

Для решения данной проблемы авторами предложен подход к формированию глубинных распределений доз терапевтических пучков электронов с помощью пластиковых изделий, изготовленных посредством трехмерной печати. Применение технологии быстрого прототипирования позволит удешевить и ускорить процесс изготовления компенсаторов и болюсов любой сложности, учитывающих форму опухоли и ее расположение, что даст возможность создавать более точные глубинные распределения доз пучков, сформированные персонально для каждого пациента. Болюсы располагаются в непосредственном контакте с поверхностью тела пациента и позволяют компенсировать недостаточный поглощающий объем ткани в необходимом направлении, например, в случае облучения передней стенки грудной клетки. Компенсаторы также позволяют регулировать распределение дозы в объеме мишени, но, в отличие от болюсов, они располагаются на расстоянии от тела пациента.

В работе представлены результаты исследования возможности применения новых материалов, «утяжеленных» металлическими примесями, пригодных для изготовления изделий методами трехмерной печати, для формирования терапевтических электронных пучков. Созданы численные модели данных материалов, для которых проведены расчеты глубинных распределений доз электронных пучков с последующей экспериментальной верификацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-10014-П).

ОПУХОЛИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Мосеева М.Б., Азизова Т.В., Банникова М.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Первичные опухоли центрального отдела нервной системы (ЦНС) являются относительно редкой патологией по сравнению с другими новообразованиями у взрослых, но в то же время занимают второе место в структуре онкологической смертности среди лиц моложе 19 лет. В развитых странах в период с 1970-х до начала 1990-х годов отмечался прирост заболеваемости первичными опухолями ЦНС, который, по-видимому, был связан с увеличением доступности методов компьютерной и магнитно-резонансной томографии, улучшениями в регистрации доброкачественных новообразований ЦНС и успехами в клинической практике. Ионизирующее излучение является одним из немногих признанных факторов риска развития первичных опухолей ЦНС и единственным модифицируемым фактором, однако информация по количественной оценке его радиогенного риска крайне скудна.

Проведен анализ показателей заболеваемости и смертности от первичных опухолей ЦНС в когорте 22 237 работников Производственного объединения (ПО) «Маяк», подвергшихся хроническому облучению. Данные о профессиональных маршрутах и оценках доз получены из базы данных «Дозиметрической системы для работников ПО «Маяк» – 2013». Клинико-

эпидемиологические данные получены из медико-дозиметрической базы данных «Клиника». Рассчитаны «грубые» и стандартизованные (косвенный метод) по возрасту показатели заболеваемости и смертности от первичных опухолей ЦНС на 100 000 человеко-лет. Анализ динамики стандартизованных трендов заболеваемости и смертности был выполнен с помощью программы Jointpoint 4.0.4.

В изучаемой когорте идентифицированы 53 случая и 47 смертей от злокачественных новообразований (ЗНО) головного и спинного мозга (С70-С72 МКБ-10), а также 40 случаев и 7 смертей от доброкачественных новообразований (ДНО) головного мозга и других отделов нервной системы (D-33 МКБ-10). ЗНО ЦНС встречались чаще у мужчин (83 %), а ДНО – у женщин (55 %). У мужчин ЗНО и ДНО ЦНС развивались в более молодом возрасте по сравнению с женщинами, частота первичных опухолей ЦНС у мужчин росла с увеличением возраста. При анализе заболеваемости и смертности от первичных опухолей ЦНС в зависимости от календарного периода установлена тенденция к росту только заболеваемости всеми первичными опухолями ЦНС у женщин ($p = 0,008$). Не установлено влияния профессионального хронического облучения на показатели заболеваемости и смертности от первичных опухолей ЦНС ни у мужчин, ни у женщин.

Полученные результаты следует рассматривать как предварительные, требующие дополнительных исследований.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ХИМИОПРЕПАРАТОВ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА

Муфтеева А.Р., Комарова Л.Н.
ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия
alinamuft@mail.ru

Облучение тканей во время курса терапевтического облучения может привести к ряду побочных эффектов, включая острую токсичность, легкие хронические симптомы или тяжелую дисфункцию органов. Для уменьшения повреждений нормальных тканей, вызванных излучением, часто используют химиопрепараты в комбинации с облучением в качестве защиты. В настоящее время актуально использование препаратов с радиопротективными свойствами.

В нашей работе проводилось исследование возможных радиопротективных свойств препаратов – фумаровой кислоты и ее соли. Оценка радиопротекторных свойств препаратов проводилась на культуре мезенхимных стволовых клеток (МСК) и фибробластов человека. Клетки подвергали облучению гамма-излучением ^{60}Co (мощность дозы 0,9 Гр/мин) в сочетании с препаратами и инкубировали в течение 10 суток. После инкубации был осуществлен подсчет колоний и оценена выживаемость клеток.

При комбинированном действии облучения в дозе 1 Гр и фумаровой кислоты в дозе 0,01 мг/мл, выживаемость МСК составила 54 %, что свидетельствует о защитном действии данного вещества. При действии облучения в дозе 1 Гр и соли фумаровой кислоты в дозе 0,05 мг/мл, выживаемость фибробластов составила 85 %, что свидетельствует о лучшем радиозащитном действии соли фумаровой кислоты, чем фумарата.

Полученные результаты позволят провести дальнейшие исследования на выявление возможных радиопротективных свойств соли фумаровой кислоты.

ОЦЕНКА РИСКА КАНЦЕРОГЕННЫХ ЭФФЕКТОВ В КОГОРТЕ ЛИЦ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Осипов М.В., Сокольников М.Э.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
osipov@subi.su

Воздействие ионизирующего излучения при проведении компьютерной томографии (КТ) является источником потенциального риска для здоровья пациентов, связанного с развитием радиационно-индуцированных канцерогенных эффектов. За последние десятилетия во всем мире наблюдается рост использования данного метода рентгенодиагностики, что привело к значительному увеличению коллективной дозы облучения населения за счет КТ. Доза облучения пациента при проведении КТ, по сравнению с традиционной рентгенодиагностикой, значительно выше, а суммарная доза при неоднократных исследованиях может достигать нижних пределов доз облучения, для которых описаны достоверные канцерогенные эффекты. В отличие от сценариев производственного воздействия ионизирующего излучения, применение ионизирующего излучения в медицине является целенаправленным и сопряжено с выгодой для пациента, в связи с чем доза облучения при проведении рентгенодиагностических процедур (за исключением профилактических осмотров) не нормируется. При этом согласно линейной беспороговой концепции, предложенной МКРЗ, предполагается пропорциональное увеличение частоты стохастических эффектов с увеличением дозы облучения. Таким образом, при проведении многократной КТ ожидается повышение радиационно-индуцированного риска развития злокачественных новообразований (ЗНО). Отсутствие ограничений по дозе диагностических исследований приводит к неограниченному росту дозы «полезного» облучения пациентов, и необходимости оценки возможных отдаленных канцерогенных эффектов с целью управления потенциальными рисками с позиции «польза-вред».

Для реализации поставленных задач было проведено ретроспективное эпидемиологическое исследование когорты лиц, подвергавшихся воздействию рентгеновского излучения при КТ. Источником информации для проведения исследования являлась база данных «Регистр КТ», содержащая медико-дозиметрические данные о населении г. Озерск, обследованном при помощи КТ с момента появления доступности данного метода диагностики для жителей, и по настоящее время. База данных содержит информацию о нескольких факторах риска радиационной и нерадиационной природы, включая пол, возраст, наличие контакта с производственным облучением и данные о заболеваемости и смертности населения. В исследовании учитывался эффект влияния обратной причинно-следственной связи и «confounding by indication», возникающий при наличии онкологического анамнеза у пациента. Анализ риска выполняли с помощью многофакторной логистической регрессии для бинарных исходов, которые определяли как наличие или отсутствие диагноза ЗНО в течение периода наблюдения. Альтернативной гипотезой, которая тестировалась путем подгонки регрессионной модели с оптимальным количеством параметров, являлось увеличение шансов установления диагноза ЗНО в зависимости от увеличения частоты диагностических КТ, выполненных в течение жизни пациента с учетом времени, которое он находился под наблюдением.

В результате проведенного исследования получено статистически значимое повышение шансов установления диагноза ЗНО в зависимости от комплексного влияния нескольких факторов риска – пола, возраста, наличия контакта с производственным облучением и времени нахождения под наблюдением. Альтернативная гипотеза о наличии связи между количеством выполненных КТ, как суррогата дозы облучения пациента, и последующим установлением диагноза ЗНО в течение его жизни (ОШ 1,01-1,10) может быть принята на уровне $(1-\alpha)$ 90 %, что говорит о возможном наличии радиогенной составляющей канцерогенного риска. Увеличение периода наблюдения за когортой, а также оценка индивидуальных поглощенных доз в органах и тканях пациентов позволит перейти к оценке пожизненного риска, связанного с воздействием рентгеновского диагностического излучения при КТ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ПРЕПАРАТА С ГЕМОСТАТИЧЕСКИМ ДЕЙСТВИЕМ

Павлов А.Н., Васильева Н.А., Полякова И.В., Снегирев А.С., Чиж Т.В.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, г. Обнинск, Россия
riraе70@yandex.ru

Стерильность является важным атрибутом качества многих фармацевтических изделий и необходима для обеспечения их безопасного использования. Стерилизация гамма-излучением показала высокую эффективность и экологичность для широкого спектра фармацевтических препаратов. Основные преимущества гамма-излучения по сравнению с другими методами стерилизации включают в себя высокую проникающую способность ионизирующего излучения, изотермический характер (небольшое повышение температуры в процессе облучения) и отсутствие риска внесения посторонних примесей, что обеспечивает гарантию стерильности, а также более низкие требования к валидации. Однако иногда облучение может привести к потере активности действующего компонента препарата, образованию побочных продуктов радиолитического распада и повлиять на высвобождение лекарственного средства из конечного продукта. Таким образом, определение оптимальных режимов облучения является необходимым этапом валидации процесса радиационной стерилизации медицинских изделий.

Гамма-стерилизация является привлекательным методом конечной стерилизации благодаря способности снижать выживаемость микроорганизмов. Сокращение численности микроорганизмов достигается за счет повреждения их генетического материала и предотвращения клеточного деления. Повреждение носителей генетической информации происходит при прямом разрыве химических связей непосредственно в процессе облучения, а также свободными радикалами. Цель исследования заключалась в определении оптимальных режимов радиационной стерилизации сорбента медицинского «Альгигемостат» и медицинского изделия, содержащего препарат. Облучение проводилось на гамма-установке ГУР-120 (Регистрационный номер УНУ на портале skr-rf.ru: 2795259. Дата регистрации: 12.10.2021). Валидация процесса радиационной обработки осуществлялась в соответствии с действующими нормативно-техническими и регламентирующими документами. Медицинские изделия были установлены в защитной камере непосредственно напротив блоков-облучателей и обрабатывались в режиме четырехстороннего восьмичасового облучения. Контроль накопленной дозы выполнялся с помощью стандартного образца поглощенной дозы фотонного и электронного излучений (сополимер с феназиновым красителем) СО ПД(Ф)Р-5/50 (НИИТФА). Уровень микробиологического загрязнения образцов до и после облучения оценивали методом посева суспензии препарата на различные питательные среды. По результатам теста на стерильность выявлено, что в отличие от необработанных, обработанные гамма-излучением образцы полностью соответствовали показателям стерильности. Тест на содержание дрожжей и плесеней в жидкой среде показал, что в контрольных образцах препарата наблюдался поверхностный рост микроорганизмов, тогда как обработанные образцы не давали роста. Общая микробная обсемененность контрольных образцов оценена на уровне $(54,7 \pm 35) \times 10^2$ КОЕ/г. Во всех обработанных гамма-излучением образцах рост микроорганизмов не наблюдался. Присутствие энтеробактерий и стафилококков отмечено только в контрольных образцах, в облученных образцах рост не наблюдался. В контрольных образцах были обнаружены термостойкие споры микроорганизмов в количестве $(2,3 \pm 2) \times 10^2$ КОЕ/г, при этом облученные образцы были свободны от спор.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что образцы исследуемого препарата, облученные в дозе от 5,14 кГр до 9,54 кГр, являются стерильными, сорбент медицинский «Альгигемостат» и медицинское изделие, содержащее препарат, в процессе облучения не утратили заявленных производителем свойств и полностью соответствуют предъявляемым требованиям.

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СВОЙСТВ ЛИГНИНА

Раскоша О.В.¹, Башлыкова Л.А.¹, Ермакова А.В.¹, Старобор Н.Н.¹,
Боднарь И.С.¹, Карманов А.П.¹, Кочева Л.С.²

¹Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

²Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия
raskosha@ib.komisc.ru

В настоящее время активно ведется скрининг веществ, смягчающих или нейтрализующих действие ионизирующей радиации, а также поиск способов уменьшения побочных эффектов противоопухолевого лечения. Большое внимание уделяется препаратам растительного происхождения, которые обладают мягкостью и широтой терапевтического действия. Одним из таких перспективных биополимеров для биомедицинского применения являются лигнины природного происхождения. Цель данной работы состояла в оценке токсичности и биологической эффективности растительного препарата на основе лигнина, а также в изучении его возможных противолучевых свойств.

Тестирование проведено на половозрелых самцах мышей линии *СВА*, полученных из УНУ «Научная коллекция экспериментальных животных» (<http://www.ckp-rf.ru/usu/471933/>). Лигнин выделяли из стеблей овса и переводили в водорастворимую форму. Мышам опытных групп питьевую воду заменяли раствором лигнина, поили в течение 4 и 8 месяцев (кумулятивные дозы составили 900 и 2 000 мг/кг массы тела животного). Изучение противолучевых и радиопротекторных свойств лигнина осуществляли при однократном остром облучении гамма-излучением животных в дозе 6 Гр (¹³⁷Cs, 0,75 Гр/мин.) на установке «Исследователь» (Россия). Мыши получали лигнин перорально в течение 8 суток (кумулятивная доза 150 мг/кг массы тела животного) до (профилактический режим) или после (терапевтический режим) радиационного воздействия. В исследовании использовали показатели, отражающие как состояние организма животных в целом, так и отдельных его систем (масса тела, индексы внутренних органов, изменения в органах эндокринной, сердечно-сосудистой и половой систем) с привлечением молекулярных, цитогенетических, морфологических и биохимических методов.

Оценка безопасности при длительном употреблении животными тестируемого вещества показала, что, судя по массе тела и значениям индексов внутренних органов, лигнин не оказывал токсического воздействия. Следует отметить, что после приема лигнина в течение 8 месяцев обнаружено увеличение массы и индекса сердца, хотя состояние параметров крови сохранялось в пределах контрольных значений. Молекулярное и цитогенетическое исследование клеток с различной пролиферативной активностью свидетельствует об отсутствии генотоксического воздействия лигнина на костный мозг, щитовидную железу и семенники при его хроническом поступлении в организм животных. Эксперименты с острым облучением позволили обнаружить противолучевые и радиопротекторные свойства исследуемого препарата. Это проявлялось в способности лигнина статистически значимо снижать количество двунитевых разрывов ДНК и микроядер в клетках костного мозга, а также уменьшать содержание малонового диальдегида в эритроцитах крови мышей при обоих режимах введения исследуемого препарата по сравнению с облученными животными. В пользу радиозащитных свойств лигнина свидетельствуют и результаты микроядерного теста на клетках щитовидной железы и данные, полученные при анализе крови, в частности, выявлена нормализация концентрации гемоглобина при терапевтическом приеме тестируемого препарата. Таким образом, отсутствие выраженного токсического эффекта и способность модифицировать радиационные эффекты делают природный лигнин перспективным кандидатом для его использования в качестве противолучевого средства.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-13-00196, <https://rscf.ru/project/22-13-00196/>.

ПОКАЗАТЕЛИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ ТЕЛА МАТКИ У ЖЕНЩИН, ПОДВЕРГШИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

Румянцева А.В., Азизова Т.В., Банникова М.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

В последнее десятилетие отмечается рост заболеваемости раком тела матки (РТМ). Во многих странах мира РТМ занимает первое место среди злокачественных новообразований (ЗНО) женских половых органов (ЖПО).

Цель работы: Оценка показателей заболеваемости (ПЗ) РТМ у женщин, подвергшихся профессиональному хроническому облучению, в зависимости от радиационных и нерадиационных факторов.

ПЗ РТМ изучены в когорте женщин (5 689 человек), подвергшихся профессиональному хроническому облучению на ПО «Маяк». Период наблюдения за изучаемой когортой начинался от даты найма на ПО «Маяк» и продолжался до 31.12.2018. На конец периода наблюдения на основе медико-дозиметрической базы данных «Клиника» были идентифицированы 65 женщин с РТМ. Использованы индивидуальные годовые дозы профессионального облучения «Дозиметрической системы работников ПО «Маяк» – 2013». Средняя доза внешнего гамма-излучения в матке составила $0,34 \pm 0,01$ Гр (здесь, и далее \pm стандартная ошибка).

Рассчитаны «грубые» и стандартизованные ПЗ (СПЗ) РТМ. Стандартизация показателей была выполнена косвенным методом с использованием в качестве внутреннего стандарта по возрасту распределения женщин, изучаемой когорты. ПЗ рассчитывали на 1 000 человеко-лет наблюдения. Для оценки статистической значимости различий средних величин использовали t-критерий Стьюдента; различия считали значимыми при $p < 0,05$. Анализ динамики СПЗ был выполнен с помощью сплайн-регрессии.

В структуре всех ЗНО у женщин изучаемой когорты РТМ составили 1,5 %; а в структуре заболеваемости ЗНО ЖПО – 46,8 %. ПЗ РТМ повышались с увеличением достигнутого возраста. В период менопаузы было зарегистрировано более 90 % случаев РТМ. На момент установления диагноза РТМ средний возраст женщин был $63,91 \pm 10,4$ лет. СПЗ РТМ у женщин изучаемой когорты составили $0,37 \pm 0,05$. Динамика СПЗ РТМ, выполненная на основе сплайн-регрессии, показала ежегодный прирост СПЗ в среднем на 0,9 % (95 % ДИ 0,7-2,5). Анализ обнаружил тенденцию роста СПЗ РТМ в изучаемой когорте женщин к концу периода наблюдения ($R^2 = 0,46$; $p = 0,16$). СПЗ РТМ были статистически значимо выше у женщин, у которых до даты установления диагноза РТМ был зарегистрирован эндометриоз. СПЗ РТМ были статистически значимо выше у женщин, подвергшихся внешнему облучению гамма-излучением в суммарной поглощенной в матке дозе более 0,5 Гр, по сравнению с женщинами, подвергшихся облучению в меньшей дозе.

Таким образом, ПЗ РТМ в когорте женщин, подвергшихся профессиональному облучению, зависели как от известных нерадиационных факторов (возраст, календарный период, наличие эндометриоза), так и от суммарной поглощенной в матке дозы внешнего облучения гамма-излучением.

ИНТЕРЛЕЙКИН-35 И ФАКТОР РОСТА СОСУДИСТОГО ЭНДОТЕЛИЯ У ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ СО ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ

Рыбкина В.Л., Ослина Д.С., Азизова Т.В., Адамова Г.В.
ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Цитокины и факторы роста – это белки, которые вырабатываются различными клетками организма и служат межклеточными посредниками. Злокачественные новообразования (ЗНО) являются мультифакторной патологией, в развитии которой могут играть роль многие химические, физические и биологические мутагены. Одним из таких мутагенов является ионизирующее излучение, которое может не только вызывать мутации в генетическом аппарате клеток, но и способствует возникновению эпигенетических изменений в нем, что повышает риск опухолевой трансформации. Цитокины играют существенную роль в возникновении, развитии, инвазии, метастазировании ЗНО, патогенезе кахексии.

Целью исследования являлась оценка цитокинового профиля у лиц, подвергшихся профессиональному хроническому облучению и с развившимся впоследствии ЗНО.

В 1-ую группу включены работники, подвергавшиеся профессиональному хроническому облучению, у которых диагноз ЗНО был установлен после взятия образца крови (32 человека в возрасте от 56 до 82 лет; 20 мужчин и 12 женщин). 2-я группа – работники, подвергавшиеся профессиональному хроническому облучению, у которых на момент обследования и после него не установлен диагноз ЗНО (33 человека в возрасте от 66 до 85 лет; 19 мужчин и 14 женщин). В 3-ю группу включены лица, не подвергавшиеся профессиональному облучению, у которых был установлен диагноз ЗНО после взятия образца крови (14 человек в возрасте от 45 до 81 года; 8 мужчин и 6 женщин). 4-я группа – лица, не подвергавшиеся профессиональному облучению, у которых на момент облучения и после него не установлен диагноз ЗНО (42 человека в возрасте от 64 до 84 лет; 13 мужчин и 29 женщин).

Исследование концентрации цитокинов в сыворотке крови проводили методами, описанными производителями тест-систем. Характер распределения исследованных параметров устанавливали по методу Колмогорова – Смирнова. Статистический анализ полученных данных проводили с использованием метода Краскела – Уоллиса. Для статистической обработки полученных данных применяли пакет программ STATISTICA.

Результаты проведенного исследования показали, что у женщин, подвергшихся профессиональному хроническому облучению с диагнозом ЗНО, установленным после взятия биоматериала, экспрессия фактора роста сосудистого эндотелия (VEGF) повышена по сравнению с женщинами, не подвергавшимися профессиональному облучению, у которых диагноз ЗНО установлен также после взятия биоматериала. Полученные нами данные согласуются с результатами экспериментального исследования при облучении мышинных преадипоцитов 3T3-L1. VEGF является ключевым медиатором ангиогенеза, в том числе ангиогенеза при развитии ЗНО, и роста опухоли. Следовательно, увеличение экспрессии VEGF у лиц, подвергшихся облучению, может повышать риск развития и прогрессии опухоли.

IL-35 продуцируется в основном регуляторными Т-клетками (Treg); препятствует реализации апоптоза в опухолевых клетках и способствует прогрессии ЗНО. Повышенная экспрессия IL-35 у мужчин, подвергшихся облучению, при сравнении с женщинами, может свидетельствовать о гендерных различиях в риске развития ЗНО.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОЗДАНИЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ФАНТОМОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ

Стучебров С.Г.¹, Булавская А.А.¹, Бушмина Е.А.¹,
Григорьева А.А.¹, Зубкова Ю.А.¹, Милойчикова И.А.^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²Научно-исследовательский институт онкологии Томского НИМЦ РАН, г. Томск, Россия
stuchebrov@tpu.ru

Одним из наиболее распространенных методов лечения злокачественных образований является лучевая терапия, которая представляет собой воздействие на опухолевые клетки ионизирующим излучением (ИИ). Для уменьшения негативных последствий лечения необходимо проводить дозиметрическое планирование каждой процедуры. Сегодня дозиметрическое планирование лучевой терапии осуществляется расчетным методом, основанным на моделировании взаимодействия излучения с тканями пациента, и экспериментальным, с использованием типовых тканеэквивалентных фантомов, либо комбинацией этих двух подходов.

Медицинский дозиметрический фантом – это устройство, позволяющее имитировать прохождение ИИ через ткани человеческого тела. Дозиметрические фантомы могут различаться геометрией и составом материалов, из которых они изготовлены.

Самые простые фантомы представляют собой сосуды с водой или набор твердотельных тканеэквивалентных однородных пластин. Применение подобных фантомов позволяет определять основные параметры терапевтического пучка, такие как мощность дозы, профили пучка, глубинное распределение дозы, а также позволяет верифицировать простые планы облучения. Однако в современной клинической практике все чаще используются более сложные методы лечения, например, лучевая терапия с модуляцией интенсивности, и описанные выше фантомы не могут гарантировать качество планирования таких процедур. Для обеспечения высокой точности доставки дозы и верификации процедур необходимо использовать фантомы, максимально приближенные к человеческому телу по размерам, форме и радиационным свойствам. Для этого применяются фантомы с рентгеноконтрастными вставками, которые имитируют радиологические свойства различных тканей человека. Такие фантомы могут отличаться по форме: простые геометрические объекты, или фантомы, приближенные по форме к человеческому телу. Антропоморфные дозиметрические фантомы, хоть и являются наиболее анатомически точными устройствами, представляют собой лишь объекты, усредненные по размерам и форме человеческого тела, и с упрощенной геометрией имитируют только некоторые внутренние структуры, например, мягкие ткани, кости и легкие. Таким образом, исследования, направленные на развитие методов создания дозиметрических фантомов с высокой точностью соответствующих человеческому телу по плотности и геометрии, имитирующие большой набор тканей, являются актуальной научной задачей.

Авторами предложен метод создания дозиметрических фантомов, который основан на применении технологии быстрого прототипирования методом послойного наплавления пластика. В работе был изготовлен фантом верхней конечности пациента на основе томографических данных человека из материалов, имеющих соответствующую рентгеновскую плотность, и проведены его дозиметрические испытания. Показано, что фантом с заданной точностью повторяет анатомические особенности по характеру взаимодействия тканей тела человека с ИИ. Таким образом, показана работоспособность предложенного метода. Несомненным преимуществом является невысокая стоимость оборудования и комплектующих, а также расходных материалов для изготовления изделий, что делает разрабатываемый метод перспективным для внедрения в медицинскую практику.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-620 (проект № МК-26.2022.1.2).

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ КЛИНИЧЕСКОЙ
ПЕРЕНОСИМОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО
ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РАДИЯ-223 ХЛОРИДА**

Сычев П.В., Удалов Ю.Д., Маякова Е.В., Мальцева Т.Ю.,
Кайдаш Ю.А., Тихомиров Н.Е., Шарапова Т.В.
ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России, г. Димитровград, Россия
sychevpetr@gmail.com

Федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии и онкологии ФМБА России (далее – Центр) является центральной клинической базой ядерной медицины в структуре Федерального медико-биологического агентства.

На базе Центра с 2022 г. началась реализация научно-исследовательской работы (НИР), проводимой в рамках государственного задания ФМБА России, на тему «Оценка эффективности и безопасности отечественного радиофармацевтического лекарственного препарата на основе радия-223 хлорида для лечения метастазов в кости при онкологических заболеваниях».

В рамках НИР по состоянию на 01.12.2022 проведено 83 цикла лечения отечественным радиофармацевтическим лекарственным препаратом (РФЛП) на основе радия-223 хлорида, изготовленным в ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России.

Был проведен анализ неблагоприятных реакций в сравнении с данными спецификации к оригинальному препарату Ксофиго, данными контрольной группы пациентов, получившей лечение оригинальным препаратом Ксофиго, и данными группы, получившей лечение отечественным РФЛП на основе радия-223 хлорида. В перечень исследуемых нежелательных явлений применения радионуклидной терапии вошли тромбоцитопения, нейтропения, диарея, рвота, тошнота, реакции в месте введения. Существенных нежелательных явлений не отмечено. Данные группы пациентов, получивших лечение отечественным РФЛП на основе радия-223 хлорида, не имеют существенных отличий от данных контрольной группы пациентов, получившей лечение оригинальным препаратом Ксофиго. Показатели обеих групп несколько ниже показателей нежелательных явлений по данным спецификации к оригинальному препарату.

При оценке болевого синдрома перед каждым циклом проводился опрос пациентов о его наличии и силе по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), который привел к следующим результатам.

В группе пациентов, получивших терапию оригинальным препаратом Ксофиго, у 50 % с болевым синдромом по шкале ВАШ 1-3 балла – болевой синдром полностью купирован. На момент проведения 4-го цикла болевой синдром сохранялся у 1 пациента с данными оценки по шкале ВАШ 7-9 баллов.

В группе пациентов, получивших терапию отечественным РФЛП на основе радия-223 хлорида, у 50 % с болевым синдромом по шкале ВАШ 1-3 балла – болевой синдром полностью купирован, у всех пациентов с оценкой боли по шкале ВАШ 7-9 баллов, отмечено снижение болевого синдрома до 4-6 баллов. У 50 % пациентов с болевым синдромом по шкале ВАШ 10 баллов, отмечается уменьшение болевых ощущений до 7-9 баллов.

Проведенный анализ показал идентичные результаты снижения болевого синдрома в обеих группах пациентов.

В ходе исследования мы пришли к следующему предварительному выводу оценки переносимости радионуклидной терапии РФЛП на основе радия-223 хлорида – положительные первые результаты лечения пациентов подтверждают полную идентичность функциональных возможностей и безопасность отечественного РФЛП на основе радия-223 хлорида.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТЕОМНОГО КАРТИРОВАНИЯ СЛЕЗНОЙ ЖИДКОСТИ У ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тахауова Л.Р.^{1,2}, Кривошеина О.И.¹, Попов И.А.³

¹ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, г. Томск, Россия

²Северский биофизический научный центр ФМБА России, г. Северск, Россия

³ФГАБОУ ВО МФТИ, г. Москва, Россия

tahauovaa@gmail.com

Орган зрения является одним из основополагающих органов чувств человека, который в течение жизни подвержен различным внешним воздействиям, в т. ч. ионизирующему излучению (ИИ). Изучение распространенности радиационно-обусловленной офтальмологической патологии имеет важное значение для оценки состояния здоровья персонала объектов использования ионизирующего излучения (ОИИИ), контактирующего с ИИ, которое способствует раннему развитию и прогрессированию инволюционных изменений органа зрения, приводящим к профнепригодности и сокращению трудового долголетия персонала ОИИИ.

В основном, лица, имеющие какую-либо патологию органа зрения, обращаются к врачу-офтальмологу, когда уже имеется значительное снижение остроты зрения. Пациенты, у которых зрительные функции снижены незначительно, чаще всего не обращаются за квалифицированной медицинской помощью. Это обстоятельство требует активного выявления офтальмопатологии путем регулярного проведения профосмотров персонала ОИИИ. Диспансеризация различных групп населения, основанная на углубленных офтальмологических осмотрах, а также внедрение новых методов исследования переднего отрезка глаза, позволят улучшить качество офтальмологической помощи, а также значительно сэкономить финансовые средства.

Первый контакт органа зрения с различными внешними факторами происходит через глазную поверхность, существенную помощь в ее изучении может оказать протеомное картирование слезной жидкости, анализирующее белковый состав для детекции потенциальных «биологических маркеров». Протеомное картирование позволяет анализировать изменения с течением времени или изменения после лечения, а также может показать нарушение регуляции отдельных белков, связанных с тяжестью заболевания и как следствие, получить новые качественные знания на молекулярном уровне об этиопатогенезе возможной радиогенной патологии органа зрения.

Целью данного исследования была оценка диагностической и прогностической значимости проведения протеомного картирования слезной жидкости у работников ОИИИ.

На основании данных о патологии органа зрения, имеющихся в региональном медико-дозиметрическом регистре населения ЗАТО Северск, сделана выборка работников ОИИИ (до 2021 г. включительно), имеющих дозу внешнего облучения, а также без дозовой нагрузки, состоящая из 5 462 пациентов (3 397 мужчин и 2 065 женщин), соответствующих кодам МКБ-10: Н01 – другие воспаления век, Н02 – другие болезни век (эктропион века), Н10 – конъюнктивит, Н11 – другие болезни конъюнктивы (птеригий), Н15 – болезни склеры (склерит), Н16 – язва роговицы, Н17 – рубцы и помутнения роговицы, Н18 – другие болезни роговицы.

Для забора слезы использовали тест-полоски Ширмера, преимуществом метода является малоинвазивность, простота транспортировки и хранения, а также легкость использования.

Протеомное картирование является современным методом диагностики, помогающим получить новые качественные знания об этиопатогенезе ряда заболеваний органа зрения на молекулярном уровне, помогая сократить число случаев профессиональной непригодности работников, а также существенно снизить затраты на лечение, реабилитацию и переобучение работников ОИИИ. На первом этапе работы проводится забор слезы для исследования, затем будет проведен анализ результатов протеомного картирования слезы (данные и выводы будут предоставлены после обобщения).

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ КЛЕТОК В14-150 ИОНАМИ УГЛЕРОДА И ПРОТОНАМИ

Трошина М.В., Корякина Е.В., Потетня В.И., Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Корякин С.Н.
Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального
государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский
центр радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия
troshina-m-v@mail.ru

В настоящее время ионная лучевая терапия представлена, в основном, двумя типами частиц: ускоренными ионами углерода и протонами. Ввиду большей стоимости создания центра ионной лучевой терапии она значительно уступает протонной по количеству работающих центров. Однако имеющихся результатов клинических исследований достаточно, чтобы судить о высокой эффективности тяжелых ионов в случае радиорезистентных опухолей. В ряде публикаций рассматривается вариант сочетанной или мульти-ионной лучевой терапии, при которой за счет облучения объема опухоли разными типами ионов создается равномерное по биологической дозе поле, и снижается дозовая нагрузка на окружающие опухоль нормальные ткани. При этом в случае фракционированного облучения необходимо учитывать наличие редко- и плотноионизирующего излучений, характерных для пучков ускоренных частиц, поскольку конечный биологический эффект зависит от многих факторов воздействия.

Цель работы заключалась в сравнении эффективности сочетанного облучения ионами углерода и протонами при разных вариантах воздействия *in vitro*.

Исследования проводили на клетках китайского хомячка линии В14-150 (клетки фибросаркомы), находящихся в стационарной фазе роста культуры. Клетки облучали в монослое в культуральных флаконах с площадью ростовой поверхности 25 см², полностью заполненных раствором Хенкса. Облучение сканирующим пучком протонов (95-105 МэВ) проводили на комплексе протонной терапии «Прометеус» (АО «Протом»), широким пучком ионов углерода (начальная энергия 400 МэВ) – на ускорительном комплексе У-70 (ИФВЭ им. А.А. Логунова, г. Протвино). Во время экспозиции флаконы находились в водном фантоме, монослой клеток при этом был расположен в центре расширенного пика Брэгга.

На первом этапе работы для пучка ионов углерода были определены дозовая кривая выживаемости и кинетика восстановления клеток после однократного воздействия на клетки В14-150. При исследовании сочетанного воздействия были выбраны 4 схемы, включающие разную последовательность и вклады излучений в суммарную дозу. Интервалы между облучениями были выбраны в диапазоне от 0 до 4 часов. Биологическую эффективность оценивали по выживаемости клеток методом клоногенной активности.

В результате исследования было показано, что зависимость выживаемости клеток от поглощенной дозы ионов углерода в центре расширенного пика Брэгга имеет линейный характер в отличие от протонов и γ -излучения, для которых характерна линейно-квадратичная зависимость. Коэффициенты относительной биологической эффективности для ионов углерода составили 1,7. Пострадиационное восстановление после однократного облучения клеток в дозе 3 Гр не наблюдалось. При сочетанном воздействии наиболее эффективными оказались схемы, в которых облучение проводили в последовательности «ионы углерода – протоны».

В целом, при облучении протонами первой фракцией эффект можно оценивать как антагонистический, что может свидетельствовать о наличии пострадиационного восстановления клеток от индуцируемых протонами повреждений. При обратной последовательности уровень эффекта соответствует независимому действию и синергизму.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 075-15-2021-1347.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ И ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА РОССИИ

Удалов Ю.Д., Маякова Е.В., Данилова Л.А.

ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России, г. Димитровград, Россия
fnkcrio@fmbamail.ru

Протонная терапия является одним из наиболее современных и перспективных направлений в радиационной онкологии.

В ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России проводится оказание всех видов медицинской помощи, в т. ч., высокотехнологичной медицинской помощи с использованием протонной терапии, применение новых сложных и уникальных методов диагностики и лечения, проведение научных исследований в области клинической, ядерной и радиационной медицины.

Протонный центр по состоянию на начало 2023 г. оборудован двумя гантри для подведения пучка к мишени с любого направления в пределах 360 градусов, две комнаты оборудованы для лечения пациентов методикой сканирования карандашным пучком. Оптическая система мониторинга за положением пациента производства VisionRT позволяет проводить как оценку точности укладки пациента перед началом лечения, так и постоянное отслеживание положения пациента в процессе лечения. Система контроля поверхности пациента AlignRT позволила ускорить укладку пациентов и сократить время пребывания пациентов в лечебной комнате.

В соответствии с современными клиническими рекомендациями в практику ФНКЦРиО широко внедряются протоколы лечения протонной и фотонной лучевой терапии с использованием режимов гипофракционирования и стереотаксической лучевой терапии при первичных и метастатических опухолях органов центральной нервной системы, печени, легких, молочной железы, половой системы. Широкое внедрение режимов гипофракционирования в сочетании с новой современной системой синхронизации дыхания при проведении протонной лучевой терапии позволило увеличить эффективность и безопасность с существенным снижением побочных эффектов, что позволяет реализовать комбинированное лечение с одновременным применением лучевой и противоопухолевой лекарственной терапии у большего количества онкологических пациентов. Благодаря современному оснащению и единой системе планирования в Центре осуществляется расчет протонных, фотонных и протонно-фотонных планов с дальнейшим выбором и использованием наиболее оптимального.

С 2021 по 2022 г. в ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России создана и зарегистрирована база данных пациентов, получавших протонную терапию по поводу онкологических заболеваний в системе ФМБА России, «Проторегистр-21», в рамках реализации прикладной научно-исследовательской работы в сфере здравоохранения по государственному заданию по теме «Создание и сопровождение базы данных пациентов, получавших протонную терапию по поводу онкологических заболеваний в системе ФМБА России». Обновление и пополнение проторегистра в режиме реального времени и интеграция с медицинской информационной системой позволяет систематизировать и анализировать все внесенные данные.

В ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России в рамках импортозамещения осуществляются исследования в области разработки и производства радиофармацевтических лекарственных препаратов. В настоящее время в ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России реализуются изготовление лекарственного препарата на основе радия-223 хлорида для лечения метастазов в кости при онкологических заболеваниях (шифр: «223-Радий», Государственное задание ФМБА России), а также разработка и внедрение в клиническую практику терапевтического радиофармацевтического лекарственного препарата на основе лютеция-177 и синтетического аналога соматостатина для терапии нейроэндокринных злокачественных новообразований (Грант Минпромторга России).

Опыт специалистов ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России по всем направлениям ядерной медицины может быть тиражирован при планировании открытия новых центров на территории Российской Федерации.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА ТЕРБИЙ-161 БЕЗ НОСИТЕЛЯ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

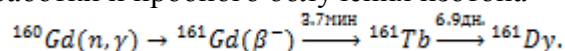
Ушаков И.А., Зукав В.В., Доняева Е.С., Нестеров Е.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
jiaozu@tpu.ru

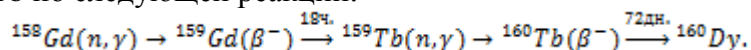
В настоящее время онкологические заболевания по-прежнему остаются одной из основных причин смертности людей во всем мире. Одним из быстро растущих направлений ядерной медицины является таргетная радионуклидная терапия – наиболее безопасный и эффективный лекарственный метод лечения. Принцип терапии заключается во введении в организм лечебного изотопа в комбинации с биологической молекулой, который избирательно накапливается в пораженном органе или ткани.

Биологическое действие препарата определяется видом ионизирующего излучения, производимого изотопом. Для противоопухолевой терапии лучше всего подходят изотопы, производящие ионизирующее излучение с малой глубиной проникновения в ткани организма (альфа-излучатели или бета-излучатели).

Одним из перспективных изотопов для таргетной радионуклидной терапии является тербий-161, преимуществом которого является образование тераностической пары с ПЭТ-изотопом ^{152}Tb и ОФЭКТ-изотопом ^{155}Tb , что дает возможность более точной дозиметрической оценки терапевтической дозы. Тербий-161 ($T_{1/2} = 6,948$ суток) является не только мягким β -эмиттером с пробегом β -частиц в тканях 0,27 мм, но и Оже-эмиттером с выходом Оже-электронов около 12,4 %, облучение которыми существенно улучшает профиль поглощенной дозы и кратно увеличивает терапевтический эффект. Целью работы является обоснование возможности получения радионуклида ^{161}Tb в активной зоне реактора ИРТ-Т путем нейтронного облучения гадолиниевой мишени, обогащенной по ^{160}Gd с помощью теоретических расчетов наработки и пробного облучения изотопа ^{160}Gd по реакции:



Для получения высоких удельных активностей ^{161}Tb (теоретическая удельная активность составляет ~ 4,32 ТБк/мг), особое внимание должно быть уделено количеству тербия в мишени, а также количеству стабильного нуклида ^{158}Gd из которого образуется стабильный нуклид ^{159}Tb и долгоживущий ^{161}Tb по следующей реакции:



Для теоретического расчета использовали классическое уравнение учитывающее наработку, распад и выгорание нарабатываемого ^{161}Tb во времени.

Расчет и вычисление наработки активности ^{161}Tb производился по нейтронному спектру, содержащему 200 групп, центрального экспериментального канала активной зоны реактора ИРТ-Т с учетом самопоглощения излучения и выгорания образующихся радионуклидов. Дополнительно рассчитывался спектр нейтронов в центральном канале, и полученные данные сравнивались с экспериментальными данными, полученными из активационных детекторов. Ядерно-физическая модель состоит из ячейки с облучаемой гадолиниевой мишенью и источника с заданным спектром вокруг ячейки.

Экспериментальное определение наработки тербия-161 из гадолиниевой мишени осуществлялось путем облучения мишени в центральном канале ядерного реактора ИРТ-Т. После облучения и выдержки, мишень обрабатывалась 6 М НСl до полного растворения. Измерения ее аликвотной части проводили на гамма-спектрометре Canberra с полупроводниковым детектором GX-2018.

На основании проделанной работы можно сделать следующие заключения: расчеты подтверждаются экспериментальными результатами, при облучении 100 мг оксида гадолиния, обогащенного до 97,4 %, возможно получить 24 ГБ ^{161}Tb при продолжительности облучения 100 ч.

ПОТЕНЦИАЛ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРОВ NOS В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

Филимонова М.В., Рыбачук В.А., Косаченко А.О., Николаев К.А., Макаручук В.М.,
Шевченко Л.И., Шитова А.А., Солдатова О.В., Филимонов А.С.

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия
mari_fil@mail.ru

Проблема создания высокоэффективных и безопасных радиопротекторов не теряет своей актуальности. Одним из целесообразных путей решения проблемы может стать создание радиозащитных средств на основе селективных ингибиторов синтаз оксида азота (NOS). В лаборатории радиационной фармакологии МРНЦ им. А.Ф. Цыба показано, что ряд селективных ингибиторов NOS – производных изотиомочевин (ИТМ), впервые синтезированных в лаборатории, обладает значительным радиозащитным потенциалом с ФИД 1,4-1,8. Эти соединения высокоэффективны при тотальном облучении лабораторных животных в летальных дозах. В частности, продемонстрирована эффективность соединения T1023 в профилактике лучевых повреждений на моделях радиотерапии саркомы M1 у крыс, солидной карциномы Эрлиха у мышей и лучевого пневмофиброза у крыс.

В настоящее время мы исследуем возможности применения новых производных ИТМ в качестве средств профилактики осложнений радиотерапии на моделях лучевого мукозита, цистита и ректита. Так, на модели радиационно-индуцированного мукозита у мышей новый ингибитор NOS, использованный превентивно внутрижелудочно в безопасных дозах, не только повышал выживаемость животных, локально облученных в области головы-шеи, но и снижал клинико-морфологическую тяжесть и масштаб лучевого поражения слизистых оболочек. На разработанных моделях радиационно-индуцированного цистита и ректита у лабораторных животных новый ингибитор NOS защищал слизистую оболочку мочевого пузыря и толстой кишки, снижая выраженность радиационно-индуцированных повреждений и улучшая общее состояние животных. Кроме того, в экспериментах на мышах нами изучено применение ингибиторов NOS в профилактике лучевых патологий, индуцированных протонами с энергиями до 150 МэВ и пике Брэгга (78-104 МэВ). Показано, что ингибитор NOS-A при превентивном внутрижелудочном введении в дозе (200 мг/кг; 1/11 ЛД10) обеспечивает эффективную профилактику острой лучевой болезни – ОЛБ (ФИД 1,3-1,4). Применение нашего радиопротектора повышает выживаемость животных и эффективно противодействует развитию костномозговой и кишечной форм ОЛБ.

В то же время, проведение клинических исследований эффективности противолучевых средств не представляется возможными. В этой связи нами обоснован один из возможных маркеров противолучевой эффективности гипоксических радиопротекторов. В экспериментах на крысах изучено влияние гипоксического радиопротектора T1023 на динамику концентрации лактата в крови и компенсаторные сдвиги в газовом и кислотно-основном составе крови. Сопоставление этих данных с кардиоваскулярными и радиобиологическими эффектами T1023 показало наличие выраженной корреляции между противолучевым действием T1023 и индуцированной им лактатемией, которая компенсировалась физиологическим балансом газового и кислотно-основного состава крови.

Таким образом, полученные результаты исследований ингибиторов NOS, созданных в лаборатории радиационной фармакологии МРНЦ им. А.Ф. Цыба, свидетельствуют об их значительном потенциале практического применения, в т. ч. в лучевой терапии и космической радиобиологии.

КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ASSESSMENT OF THE COUNT RATE OF ALPHA PARTICLES THROUGH A CIRCULAR MESH-HOLE COLLIMATOR COMPARED TO THAT OF HEXAGONAL MESH-HOLE COLLIMATOR

Amoah P.A., Kuznetsov M.S., Kotliarevskaya A.S.

School of Nuclear Science and Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
amoah1@tpu.ru

An experiment in alpha spectrometry to assess the count rate of alpha particles through a circular mesh-hole collimator compared to that of hexagonal mesh-hole collimator was performed. Circular-shaped collimators do not present the complete uniform surface area required to enhance the trajectory of radionuclides unto a detector. Thus, the need to analyse the optimum collimator geometry capable of delivering adequate counting efficiency with the collimator. Isotropic ^{241}Am , ^{244}Cm , and ^{238}Pu sources were used in this study along with circular-shaped and hexagonal-shaped collimator geometries with mesh-hole diameters of 2.5 mm, 4 mm and 5 mm and a cell height of 5 mm. Without the use of the collimator, mean count values of 17116, 38022, and 38648 were obtained from ^{241}Am , ^{238}Pu , and ^{244}Cm respectively. With the application of the circular mesh-hole collimator using the Am-241 source, the counting efficiencies of the 2.5 mm, 4.0 mm, and 5.0 mm had reduced by 87; 76, and 62 % respectively. Whiles with the hexagonal mesh-hole collimator, the counting efficiencies of the 2.5 mm, 4.0 mm, and 5.0 mm had reduced by 86; 69, and 62 % respectively. There were relatively larger reductions, but higher values in counting efficiency with the ^{238}Pu and ^{244}Cm sources compared to that of ^{241}Am . It could therefore be concluded that the most preferable optimized geometry in terms of interchangerability for uniform output with the circular mesh-hole and hexagonal mesh-hole collimators would be the 5.0 mm diameter with the ^{241}Am source.

ASSESSMENT OF CONCENTRATION ACTIVITY OF THE NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS (NORM) IN THE UTAN ARTISANAL TIN MINING SITES OF JOS NORTH, NIGERIA

Godwin Ini

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
inigodwin7777@gmail.com

Tin mining and milling can be an avenue for national economic and technological development. However, mining of this mineral has been confirmed to disturb the natural distribution of radioisotopes in the environment. This study assesses the concentration of natural radioactivity of these radionuclides, ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K , in 20 soil samples collected from 20 different locations in Utan mining site, Jos North, Plateau State, Nigeria. The activity concentrations of potassium, radium and thorium in soil samples from the mining site were measured using the gamma-ray spectroscopy method. Activity concentrations of potassium, radium and thorium were determined. In soil samples, activity concentrations of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th were established. ^{40}K 196.07 \pm 4.91 to 608.07 \pm 1.44 with an average of 386.48, ^{226}Ra 0.71 \pm 0.02 to 5.11 \pm 0.07 with an average of 2.35 and ^{232}Th 14.91 \pm 0.74 to 63.71 \pm 0.97 with average activity concentrations of 54.78. The mean activity concentration of potassium and thorium was slightly above the world recommended average of 370.00 and 40.00 respectively, while radium was below the recommended average. The mines mean absorbed and annual effective dose rates were 14.27 nGy h⁻¹ and 18.62 $\mu\text{Sv y}^{-1}$, respectively. This average calculated absorbed dose rate in the air was found to be much lower than the world average of 57 nGy h⁻¹. The absorbed dose is considered low compared to the external natural radiation of about 2 000 μSv

y⁻¹, to which no harmful effect is expected directly. However, the mean measured dose rate and calculated dose parameters for the mine were higher than the regulatory limit for public exposure. Therefore, the potential of developing radiation-induced health defects due to the high radiation absorbed dose rate by the mineworkers and inhabitants around the mine is highly possible.

THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE CITY OF PAVLODAR AND IMPACT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES ON THE ENVIRONMENT

Kereibayeva A.N., Imasheva B.S.

Astana Medical University, Institute of Radiobiology and Radiation Protection, Astana, Kazakhstan
kaliyeva.1996@mail.ru

Increasing volume of industrial waste forms new man-made landscapes, with the height of the embankment and landfills becoming a source of intense dust formation. The second place in terms of production waste after the mining industry is occupied by the metallurgical industry and energy. Thus, more than 1.5 billion tons of waste were found in the industry of the Pavlodar region in the city of Ekibastuz. The practice of flaring associated gas causes significant environmental and economic damage. During the combustion of gas, the high thermal background around the fields and the acidification of environmental components negatively affect the soil, vegetation, and wildlife of the areas adjacent to the oil complexes, contributing to the strengthening of the greenhouse effect. In such cases, the assessment of the state of the environment occupies an important place in solving the problem of preventing and eliminating man-made impacts in the locations of industrial organizations.

The purpose of the investigation: analysis and assessment of the impact of industrial waste on the condition and atmosphere of the city of Pavlodar using literature data.

Method for studying atmospheric air using the GANK-4 instrument. GANK-4 gas analyzers are universal, automatic, multicomponent, multi-channel, stationary and portable, general industrial and explosion-proof instruments with alternative measurement methods. In industry, they are used in the chemical and petrochemical industries, ferrous and non-ferrous metallurgy, energy enterprises, mechanical engineering and metalworking, mining, food, pulp and paper, Forestry, woodworking, fuel industries, as well as in labor protection laboratories of industrial enterprises.

Pavlodar region is one of the main industrially developed regions of the Republic of Kazakhstan. The economic activity of enterprises of such sectors of the economy as energy, ferrous and non-ferrous metallurgy, mining, oil refining and chemistry is carried out on the territory of the region. As a result of the analysis of the collected data, the share of thermal power enterprises from the total mass of emissions accounts for 64 %, ferrous metallurgy – 16 %, non-ferrous metallurgy – 7 % and oil refining – 4 %. The total volume of industrial waste into the atmosphere in 2018 in the Pavlodar region amounted to 709.3 thousand tons, compared to 2017 (609.7 thousand tons), there is an increase in the volume of waste by 99.6 thousand tons. This is due to the large concentration of industrial enterprises and the growth of their production capacities, an increase in electricity generation by thermal power plants. Among the substances polluting the atmospheric air of the Pavlodar region, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide and solid particles predominate. In 2018, the number of stationary sources of emissions decreased and amounted to 13,472 units. (in 2017 – 13,701 units). The share of large enterprises of the I category accounts for 95-96 % of emissions, the rest of the objects of the II, III, IV categories – about 5-6 %.

The quality of atmospheric air in Pavlodar region has not changed significantly compared to 2017. In 2018, the number of studied objects increased from 11 to 19 compared to 2017 (Pavlodar – 13, Ekibastuz – 4, Aksu – 2), the number of measurements from 5,000 to 8,500 (additional – from 500 to 800) for 11 elements: sulfur dioxide, chromium, nitrogen dioxide, carbon monoxide, hydrogen sulfide, C₆-C₁₀ hydrocarbons, C₁₂-C₁₉ hydrocarbons, sodium hydroxide, aluminum oxide, dust, phenol. In general, the average monthly concentration of measured substances (dust) in the city did not exceed 2.4 MPC, nitrogen dioxide 2.2 MPC, sulfur dioxide 2.4 MPC, and the concentration of other pollutants did not exceed MPC.

Summing up the above, it should be noted that the existing legislation in Kazakhstan in the field of environmental protection should affect the most important aspects of environmental regulations that ensure the legal regulation of relations between business entities and the state, that is, the responsibility of economic entities for control or full custody of their activities.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ *HORDEUM VULGARE L.* – КАК РЕАКЦИЯ НА ДЕЙСТВИЕ МУТАГЕНОВ

Амосова Н.В., Бабина К.В.

ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия

amosovan@yandex.ru, babinakv@oiate.ru

Предпосевное облучение семян ячменя, а также наличие в растворах для проращивания ионов металлов неизменно сказывается на цитогенетических показателях растения. Такое поликомпонентное воздействие на важные для жизнедеятельности растения процессы предсказать практически невозможно, поэтому актуальность данного исследования очевидна.

Вероятность возникновения реакции растений на мутагены, как и ее отсутствие, напрямую зависят от дозы или концентрации стрессовых факторов. Однако, именно внешние раздражители, такие как алюминий, становятся причиной токсического эффекта. Также результатом воздействия может быть стимуляция ростовых характеристик, например, при влиянии малых доз облучения ионизирующим излучением – радиационный гормезис.

Недостаток информации об антропогенной нагрузке на биоту нескольких факторов, отличающейся от их отдельного присутствия снижением показателей токсичности – эффект антагонизма – негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур.

Цель представленной работы – изучение цитогенетических эффектов проростков ячменя ярового различных сортов при отдельном и комбинированном действии γ -излучения в дозах 15 и 20 Гр и ионов металлов: цинка (5,0 мг/л) и алюминия (0,5 мг/л).

В результате исследований было установлено, что присутствие Al^{3+} приводит к снижению митотического индекса (МИ) на 11,9 % в среднем по сортам, тогда как частота аберрантных клеток (АК) возрастает более чем в 7 раз по сравнению с контрольными значениями. Присутствие в растворе Zn^{2+} не влияло на показатели митотического индекса и частоты аберрантных клеток по сравнению с контрольными значениями.

Наличие предпосевного облучения γ -излучением приводило к росту митотического индекса в 2 раза и частоты аберрантных клеток в 3,5 раза в среднем по сортам по сравнению с контрольными значениями. Возрастание митотического индекса в 1,9 раз фиксируется при сочетании предпосевного облучения семян и дальнейшем проращивании их в растворах, содержащих ионы алюминия в исследуемой концентрации; значение частоты аберрантных клеток уменьшается в 4 и в 7 раз по сравнению с присутствием в растворах только Al^{3+} для сортов Грис и Ерема соответственно. При комбинированном действии ионов алюминия и цинка наблюдаются схожие цитогенетические эффекты. Однако преимущества совокупности ионов изучаемых металлов перед индивидуальным пребыванием факторов не столь очевидны: доля аберрантных клеток снижается в 1,3 раза, МИ возрастает в 1,1 раз в среднем по сортам.

Все представленные в работе варианты сочетания стрессоров свидетельствуют о возможности сокращения токсичности ионов алюминия для сельскохозяйственных культур посредством следующих эффектов – радиационного гормезиса и антагонизма.

Вероятно, негативное воздействие ионов металла нивелируется через его связывание в нерастворимый комплекс, а также следующее за этим исключение его поступления в клетки. Такая ответная реакция растения основана на выделении им метал-хелатирующих лигандов. Следовательно, растения располагают достаточно большим арсеналом специфических и неспецифических систем и механизмов защиты и детоксикации ионов металлов, в том числе и тяжелых. Из-за поступления тяжелых металлов в клетках растений происходят цитогенетические изменения, направленные на поддержание клеточного гомеостаза и

повышение металлоустойчивости, что позволяет более устойчивым видам произрастать в условиях избытка тяжелых металлов в окружающей среде.

ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ЭКОСИСТЕМЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ: МОНИТОРИНГ И ЭКОТОКСИЧНОСТЬ

Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Вахрушев В.И., Трофимова Е.А., Дементьева А.С.
Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия
radecology@gmail.com

Река Енисей является одной из крупнейших рек мира, которая более 60 лет подвергается радиационному воздействию в результате деятельности Горно-химического комбината (ГХК) Росатома в г. Железногорске, производившего оружейный плутоний. Донные отложения и пойма р. Енисей загрязнены техногенными радионуклидами, в том числе трансурановыми, не только вблизи ГХК, но и на значительном расстоянии по течению реки. С 1995 по 2020 гг. во время научных экспедиций Института биофизики СО РАН и Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) в пойме р. Енисей в зоне влияния сбросов ГХК были обнаружены участки аномального содержания техногенных радионуклидов и радиоактивные частицы, соответствующие категории радиоактивных отходов. По результатам анализа радионуклидного состава этих частиц в лабораториях Красноярска, Новосибирска и Москвы был сделан вывод о реакторном происхождении частиц.

Радиоэкологические исследования выявили, что водные растения, повсеместно произрастающие в р. Енисей, наиболее активно накапливают техногенные радионуклиды и могут быть использованы для биомониторинга радиоактивного загрязнения. По данным радиоэкологического мониторинга в пробах водных растений районов реки после сбросов ГХК регистрировали до 30 техногенных радионуклидов в период до остановки реактора ГХК (2010 г.) и 5-11 радионуклидов – после остановки реактора. В других гидробионтах перечень техногенных радионуклидов был в несколько раз меньше. Участки донных отложений и радиоактивные частицы с высокой активностью ^{137}Cs могут быть источниками внешнего облучения укорененных водных растений. Результаты биомониторинга районов радиоактивного загрязнения донных отложений реки по течению от ГХК с помощью водного растения *E. canadensis* показали многократное превышение фонового уровня цитогенетических нарушений в клетках элодеи в период работы реактора ГХК. После остановки реактора ГХК повышенный уровень цитогенетических нарушений в клетках элодеи отмечен в районах реки вблизи сбросов ГХК, а также в местах аномального содержания радионуклидов в донных отложениях. Этот факт свидетельствует о радиационной чувствительности элодеи.

Лабораторное биотестирование радиоактивных проб донных отложений реки с использованием растительных биотестов выявило ингибирование параметров роста растений при малых дозах облучения. Облучение гамма-излучением за счет радиоактивных частиц (точечных источников ^{137}Cs) негативно влияло на параметры использованных растительных и бактериальных биотестов в лабораторных экспериментах. Полученные данные свидетельствуют о потенциальном влиянии малых доз ионизирующего излучения (за счет техногенных радионуклидов в частицах и донных отложениях реки) на биоту р. Енисей в зоне влияния радиоактивных сбросов ГХК.

Работа выполнена частично за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-27-20001, Красноярского краевого научного фонда.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАЗНЫМИ УРОВНЯМИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Васильев Д.В.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Россия
treworqwert@mail.ru

Проведен сравнительный анализ результатов исследований популяций сосны из районов прилежащих к Ленинградской АЭС, радиоактивного загрязнения в Брянской области, Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), и префектуры Фукусима. Результаты исследований показали, что у импактных популяций сосны во всех исследуемых регионах уровни цитогенетических нарушений в клетках корневой меристемы проростков семян и интеркалярной меристеме хвои статистически значимо выше, чем у растений контрольных популяций. В Брянской области, ПГРЭЗ и в районе аварии на АЭС Фукусима повышенная частота цитогенетических нарушений обусловлена радиоактивным загрязнением, тогда как в Ленинградской области такой зависимости не было обнаружено, следовательно, на эти популяции оказывают значительное влияние иные факторы. Природу неблагоприятных факторов можно косвенно определить по спектру цитогенетических нарушений. В Ленинградской области в клетках проростков семян сосны обнаружена высокая, по сравнению с контролем, частота нарушений митоза. В совокупности с данными о химическом загрязнении исследуемого района (в приземном воздухе и почвах регистрировались высокие концентрации хрома, меди, свинца) и дозиметрического контроля, полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии на растения тяжелых металлов. Для исследуемых популяций сосны из районов с более высоким уровнем радиоактивного загрязнения характерен повышенный по сравнению с контролем уровень хромосомных aberrаций, что является свидетельством действия ионизирующего излучения.

В условиях антропогенного воздействия особую важность приобретает оценка адаптивных возможностей природных популяций. Для определения наличия эффектов адаптации к неблагоприятным факторам мы проводили дополнительное провокационное острое облучение семян дозой 15 Гр. Это позволило выявить у импактных растений из Ленинградской области устойчивый в ряде лет эффект повышенной радиорезистентности семян, что свидетельствует о наличии адаптивной реакции на неблагоприятные факторы. В Брянской области, проведенные нами эксперименты с дополнительным облучением семян, не выявили устойчиво воспроизводимую зависимость между радиочувствительностью семян и уровнями радиоактивного загрязнения участков.

Проведение исследований в Ленинградской и Брянской областях в течение ряда лет позволило проследить динамику и направленность изменения уровня цитогенетических нарушений у проростков семян исследуемых популяций. Было установлено, что временные зависимости выхода цитогенетических нарушений, для исследованных популяций могут быть адекватно описаны линейной моделью. Регрессионный анализ показал, что в Ленинградской области у импактных популяций наблюдается увеличение частоты цитогенетических нарушений со временем. В Брянской области, напротив, у растений с импактных участков имеется тенденция к снижению частоты цитогенетических нарушений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕСТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЙМЫ РЕКИ ЕНИСЕЙ

Дементьева А.С., Трофимова Е.А., Дементьев Д.В., Зуева А.В., Болсуновский А.Я.
Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия
aileenpetrova@gmail.com

Многолетняя деятельность Горно-химического комбината (ГХК) Росатома привела к радиоактивному загрязнению экосистемы реки Енисей. Участки русла реки с донными отложениями и пойменными почвами, содержащие ^{137}Cs и радиоактивные частицы с высокой активностью ^{137}Cs служат источниками дополнительного хронического облучения гидробионтов и наземных организмов. Водные растения, являясь неотъемлемым компонентом экосистемы реки, могут быть использованы в биоиндикации и биотестировании. Результаты многолетнего мониторинга показали, что частота хромосомных нарушений в клетках корневой меристемы водного растения *Elodea canadensis*, отобранного вблизи сбросов ГХК, достоверно превышает частоту нарушений для растений из фоновых районов. В то же время неоднородный характер распределения радионуклидов в донных отложениях и пойменных почвах и наличие в них ^{137}Cs -содержащих радиоактивных частиц не позволяет однозначно оценить влияние радиоактивного загрязнения поймы реки на уровень хромосомных нарушений *in situ*. Чтобы избежать влияния этой неоднородности и оценить воздействие присутствующих уровней загрязнения регистрируемых в пойме р. Енисей нами были проведены эксперименты с использованием биотестов разного уровня организации (от клеточного до организменного).

В лабораторных экспериментах по выращиванию побегов *E. canadensis*, на донных отложениях с удельной активностью ^{137}Cs до 0,4 МБк/кг, где основная дозовая нагрузка при облучении корней достигалась за счет сочетанного действия гамма- и бета-излучения ^{137}Cs , а также экспериментах по внешнему гамма-облучению побегов элодеи от радиоизотопного источника ^{137}Cs с активностью 12 МБк было показано достоверное увеличение частоты хромосомных нарушений у облученных растений относительно контроля. Помимо хромосомных нарушений в этих экспериментах также оценивали пролиферативную активность и ростовые параметры *E. canadensis*.

Для исследования влияния малых доз от ^{137}Cs -содержащих радиоактивных частиц, обнаруживаемых в пойменных почвах р. Енисей, кроме элодеи были проведены лабораторные эксперименты по облучению точечными источниками ^{137}Cs различной активности набора тестовых объектов: луковый тест (*Allium*-тест), *Lactuca sativa* (салат латук) и биолюминесцентный тест на основе бактерий *P. phosphoreum*. При облучении растений оценивались митотический индекс, частота хромосомных нарушений, микроядерный тест, ростовые параметры. В эксперименте с биотестом на основе бактерий была исследована кинетика биолюминесценции *P. phosphoreum*, которая в различных температурных условиях показала разнонаправленный ответ на воздействие внешнего гамма-излучения в малых дозах.

Работа выполнена частично за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-27-20001, Красноярского краевого научного фонда.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

Киселев С.М., Шлыгин В.В., Зозуль Ю.Н., Ахромеев С.В.,
Шашкова О.В., Болотник Н.Ф., Соловьева Д.А.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
sm_kiselev@mail.ru

В настоящее время в Северо-западном и Дальневосточном регионах России осуществляется вывод из эксплуатации и реабилитация загрязненных территорий бывших береговых технических баз ВМФ России. Для этих целей создана инфраструктура и соответствующие

производственные мощности на предприятиях СЗЦ «СевРАО» и ДВЦ «ДальРАО» (филиалы ФГУП «ФЭО»). Особенности загрязнения окружающей среды на территориях расположения объектов ядерного наследия определяются наличием локальных участков загрязнения, сформировавшихся в результате прошлой деятельности, а также поступлением контаминантов различной природы, образующихся в процессе текущей производственной деятельности. Учитывая особенности технологических процессов обращения с ОЯТ и РАО, спектр загрязнителей химической природы более разнообразен по сравнению с радиоактивными загрязнителями и включает соединения органической и неорганической природы. В ходе многолетних исследований гигиенической обстановки на объектах ядерного наследия специалистами ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России охарактеризовано загрязнение объектов окружающей среды техногенными радионуклидами, а также токсичными металлами, которые в т. ч. входят в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (распоряжение Правительства от 8 июля 2015 г. № 1316-р). Показано, что характер загрязнения техногенных грунтов на промплощадках определяется широким спектром содержания токсичных металлов I, II и III классов опасности, содержание которых кратно превышает гигиенические нормативы. По показателю интегрального загрязнения почв (Z_c) техногенные грунты относятся к «Высокой» и, в ряде случаев, «Чрезвычайно опасной» категории загрязнения. При этом содержание техногенных радионуклидов в целом не превышает значений, регламентирующих использование твердых материалов в хозяйственной деятельности без ограничений ($A_{ни}$). Содержание токсичных металлов в подземных водах также кратно превышает гигиенические нормативы и характеризуется более широким ареалом распространения в исследуемой среде по сравнению с техногенными радионуклидами. По показателю антропогенной нагрузки подземные воды наблюдательных скважин характеризуются широким спектром уровней загрязнения от категории «Умеренная» до «Чрезвычайно опасная». Учитывая тот факт, что исследуемые объекты граничат с морской акваторией, существует потенциальная опасность того, что загрязненные подземные воды могут разгружаться и попадать в поверхностные водоемы и водотоки, используемые населением в рекреационных целях.

Полученные результаты определяют целесообразность расширения программ мониторинга экологической обстановки в части включения токсичных металлов в качестве одних из приоритетных загрязнителей подземных вод на исследуемых предприятиях.

По результатам исследовательского мониторинга необходимо определить перечень приоритетных загрязнителей, периодичность наблюдения и установить контрольные уровни содержания токсичных металлов в подземных водах по аналогии с контролем техногенных радионуклидов в подземных водах на объектах ядерного наследия.

СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Киселев С.М., Шандала Н.К., Лягинская А.М., Сычева Л.П., Зозуль Ю.Н.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
sm_kiselev@mail.ru

Решение проблем обеспечения безопасности населения и поддержания качества окружающей среды определяется комплексными исследованиями на стыке разных дисциплин (экологии, медицины, гигиены). Целью настоящего исследования является разработка современной методологии эколого-гигиенического мониторинга (ЭГМ) на территориях расположения радиационно опасных объектов, направленной на формирование научно-практической основы надзорной деятельности в области обеспечения безопасности населения и окружающей среды.

Методология ЭГМ, апробированная на территориях расположения объектов ядерного наследия и предприятий ядерно-топливного цикла, включает три уровня организации и базируется на комплексном подходе к оценке воздействия на окружающую среду и здоровья населения, проживающего в районах расположения радиационно опасных предприятий.

Первый уровень ЭГМ заключается в исследовании приоритетных загрязнителей и определении пространственно-временных особенностей их распределения в окружающей среде. Накопленный опыт в этой области реализован в создании единой информационно-аналитической платформы на базе накопленных данных о состоянии загрязнения окружающей среды с визуализацией результатов исследования эколого-гигиенической обстановки.

Второй уровень организации ЭГМ предусматривает исследование изменений качества окружающей среды в результате комплексного воздействия загрязнителей различной природы, определяющих значимые природные и антропогенные нагрузки. Эти изменения оцениваются методами биологического мониторинга, в основу которых положено установление токсичности среды с помощью биологических тест-объектов, которые выступают в роли сенсоров, выявляющих интегральный биологический эффект комплекса неблагоприятных факторов внешней среды.

Третий уровень ЭГМ ориентирован на исследование ответа человеческого организма на комплексное воздействие факторов внешней среды, оценку и прогнозирование состояния его здоровья. Впервые разработаны методические подходы к оценке состояния здоровья населения, расширяющие рекомендации социально-гигиенического мониторинга с учетом особенностей местоположения территорий ядерного наследия и социальной среды малых по численности городов России. На их основе разработаны технологии мониторинга состояния здоровья, апробированные как на больших производственных коллективах и группах населения, так и на индивидуальном уровне. Впервые апробирован персонализированный подход для оценки риска неблагоприятных последствий на здоровье персонала радиационно опасных производств в условиях комплексного воздействия вредных факторов производственной среды на основе оценки цитогенетического статуса с применением буккального микроядерного цитомного теста.

Разработанная технология ЭГМ создает предпосылки для развития интегративного подхода к оценке качества среды обитания и состояния здоровья населения, проживающего в районах расположения радиационно опасных объектов. В развитие методологии ЭГМ разработан ряд методических документов, включая организацию, проведение, анализ техногенных загрязнителей радиационной и нерадиационной природы в объектах окружающей среды. Разработаны и реализованы на практике методические подходы к оценке состояния здоровья населения и персонала, в т.ч. с применением современных диагностических методов тестирования, основанных на оценке цитогенетического статуса.

**АКТУАЛИЗАЦИЯ «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСТАНОВКИ 30-КМ ЗОНЫ ОДЭК ИНФОРМАЦИЕЙ О ПРОСТРАНСТВЕННОМ
РАСПРЕДЕЛЕНИИ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА НАСЕЛЕНИЕ
ПРИ ПРОЕКТНЫХ И ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЯХ**

Кречетников В.В., Титов И.Е., Кречетникова Е.О., Нуштаев С.Н., Соломатин В.М.
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Россия
viktor.krechetnikov@mail.ru

На основании модельных расчетов были оценены дозовые нагрузки на различные органы при проектных и запроектных авариях на РУ БРЕСТ-ОД-300, при авариях на модуле фабрикации-рефабрикации (МФР) и при нормальной эксплуатации МФР и РУ БРЕСТ-ОД-300. Всего было рассмотрено 27 сценариев. Полученные в ходе расчетов данные были добавлены в виде слоев электронных векторных карт в «цифровой двойник» радиологической обстановки

30-км зоны ОДЭК. Данные были представлены в таблице Excel с полями, содержащими координаты X, Y, описывающие положение отдельного точечного объекта расчетов на поверхности земли. Значения полей записаны в десятичных градусах. Тип полей – числовой.

Полученные слои с точечными объектами были обработаны дополнительным программным модулем ArcGIS Spatial Analyst, который предоставляет богатый выбор инструментов пространственного анализа как для растровых (на основе ячеек), так и для векторных данных. Для создания непрерывной прогнозируемой поверхности по значениям, рассчитанным для каждой опорной точки, использовались инструменты интерполяции поверхности. Непрерывное представление поверхности для набора растровых данных отражает пространственное распределение рассчитанной поглощенной дозы при различных сценариях аварийных выбросов. Инструменты интерполяции поверхности на основании измерений в опорных точках прогнозируют значения для всех местоположений в выходном наборе растровых данных независимо от того, выполнялось в этой точке измерение или нет.

В работе применялась интерполяция по методу обратно взвешенных расстояний (ОВР). Этот метод определяет значения ячеек с использованием линейно взвешенной комбинации значений из поднабора опорных точек. Вес – это функция обратного расстояния. Интерполируемая поверхность должна представлять собой поверхность пространственно зависимой переменной.

Этот метод предполагает, что влияние картируемой переменной уменьшается по мере удаления от местоположения образца. Инструмент ОВР опирается, главным образом, на обратное значение расстояния, возведенное в математическую степень. Созданные методом интерполяции растровые слои были добавлены в «Цифровой двойник» радиозоологической обстановки 30-км зоны ОДЭК, созданный в ГИС среде.

В состав цифрового двойника, содержащего информацию о пространственном распределении рассчитанной поглощенной дозы при различных сценариях аварийных выбросов, входит 332 слоя, которые находятся в двух основных каталогах, содержащих 74 подкаталога (группы) с различной атрибутивной информацией. Созданные слои отображают информацию о расположении точечных объектов, для которых проводился расчет дозы, и информацию о пространственном распределении поглощенной дозы на следующие органы: надпочечники, мочевой пузырь, поверхность кости, головной мозг, молочная железа, доза на весь организм, пищевод, почки, печень, нижняя стенка толстой кишки, легкие, мышцы, яичники, поджелудочная железа, красный костный мозг, кожа, тонкая кишка, селезенка, желудок, язык, тимус, щитовидная железа, верхняя стенка толстой кишки, матка. Для каждого органа создавались электронные карты пространственного распределения поглощенной дозы при внешнем облучении, внутреннем облучении, при ингаляционном поступлении и суммарном облучении на 6 возрастных групп населения: 3 месяца, 1 год, 5, 10, 15 лет и на усредненный возраст взрослого человека.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Кречетникова Е.О., Титов И.Е., Кречетников В.В., Иванкин Н.Г.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,

г. Обнинск, Россия

evg.krechet@yandex.ru

Для создания благоприятных условий проживания населения в условиях радиоактивного загрязнения разрабатываются проекты, направленные на реабилитацию, устойчивое функционирование и социально-экономическое развитие территорий и поселений. Одним из основных направлений является совершенствование систем аграрного производства на загрязненных землях, направленное на снижение поступления ¹³⁷Cs в сельскохозяйственную

продукцию. С целью выполнения этой задачи реализуется разработка новых видов удобрений и технологий ведения сельского хозяйства.

При проведении производственных испытаний применения новых видов агроメリорантов и гуминовых препаратов в растениеводстве и кормопроизводстве на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территориях Брянской области на всех стадиях выполнения работ применялись технологии аэрофотосъемки с использованием дрона.

Работы проводились в два этапа. На первом этапе с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Mavic 2 PRO Geobox ForAPK L1L2 DRONE UPGRADE, оснащенного двухчастным геодезическим приемником Geobox GNSS PPK Logger для определения точных (1-2 см) координат центров фотографий методом PPK (Post Processing Kinematic) проводилась оценка пригодности участка для проведения испытаний. Были созданы полетные маршруты для каждого опытного участка. Полетные маршруты создавались в программной среде DJI Pilot для Android, которая позволяет в автоматическом режиме производить аэрофотосъемку местности, учитывая погодные условия и наличие высотных объектов на местности.

В дальнейшем была выполнена аэрофотосъемка различных сельхозугодий для определения кривизны поверхности, размеров участков и особенностей их расположения. Полученный набор высокоточных снимков был обработан в программной среде Agisoft Metashape Professional. Эта программа дает возможность обрабатывать изображения, получаемые с помощью RGB- или мультиспектральных камер БПЛА и преобразовывать полученные снимки в плотные облака точек, текстурированные полигональные модели, геопривязанные ортофотопланы и цифровые модели рельефа/местности (ЦМР/ЦММ).

На втором этапе работ проводился контроль за внесением агроメリорантов в границах размеченных опытных участков с помощью визуального наблюдения с применением высокоточной камеры БПЛА. После внесения удобрений оценивалась всхожесть сельскохозяйственных культур. Проводилась аэрофотосъемка полей со всходами, полученные фотоснимки высокого разрешения обрабатывались, создавался ортофотоплан наблюдаемой территории. В программной среде ArcGis проводился анализ полученного растрового изображения высокой детализации с использованием модуля 3D Analyst, выделялись области с непроросшими сельхозкультурами, считалась их площадь и процентное соотношение.

На основе собранных данных в геоинформационной системе создан проект результатов испытаний технологий по снижению накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. Завершенная геоинформационная система представляет собой библиотеку электронных карт для шести опытных хозяйств Брянской области и включает следующую информацию: типы землепользования на опытных участках, поверхностное загрязнение ¹³⁷Cs опытных участков, типы почв, содержание гумуса в почве, агрохимический состав почвы, границы элементарных опытных участков с обозначением типа внесенных удобрений, урожайность сельскохозяйственных культур, кратность снижения поступления цезия в сельскохозяйственную продукцию.

ВАРЬИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЦЕЗИЕМ-137 ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЭЛЕКТРОСТАЛЬ

Липатов Д.Н., Вараченков В.А., Манахов Д.В., Щеглов А.И.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

dlip@soil.msu.ru

Цезий-137 является основным техногенным радионуклидом, который загрязняет природные и искусственные объекты городской среды. Исследования варьирования параметров радиационной обстановки в урбоэкосистемах необходимы для оценки доз облучения населения.

Исследования проводили в урбоэкосистемах г. Электросталь (Московская область) в 2016 и 2018 гг. через 3 и 5 лет после локальных выпадений ¹³⁷Cs, произошедших вследствие радиационного инцидента на заводе тяжелого машиностроения (ЭЗТМ). Контрольные

площадки располагались на расстояниях 30-900 метров от источника загрязнения вдоль улиц Красной, Первомайской, Жулябина, Советской и проспекта Ленина. На 45 контрольных площадках (5 x 5 метров), заложенных в промышленных, транспортных и селитебных урбоэкосистемах, измерена мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭДГИ) на высоте 0 и 1 метр с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ6130С. На 22 площадках также выполнен пробоотбор верхнего слоя почвы (0-10 см). В лаборатории выполняли высушивание проб почв и измерение удельной активности ^{137}Cs на гамма-спектрометре «Мультирад».

В исследованном районе г. Электросталь почва представлена урбостратифицированными стратоземами. Удельная активность ^{137}Cs в верхнем слое почвы на территории вокруг ЭЗТМ варьировала от 6 до 8 328 Бк/кг. Площадь ореола с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 3,7 кБк/м² (0,1 Ки/км²) составляла около 0,25 км². В промышленной зоне на западной границе завода плотность загрязнения ^{137}Cs наиболее высокая. В селитебных экосистемах она снижена, т. к. они расположены в 250-900 метрах от источника выпадений и там проводились дезактивационные мероприятия по замене загрязненного верхнего слоя почвы.

Измеренные значения МЭДГИ варьировали на поверхности почвы от 0,05 до 0,49 мкЗв/ч; на высоте 1 метр – от 0,04 до 0,41 мкЗв/ч. Фоновые уровни МЭДГИ менее 0,12 мкЗв/ч зафиксированы к северу, востоку и юго-западу от промзоны ЭЗТМ. Наиболее высокие значения МЭДГИ отмечены в западной части промзоны и в близлежащих урбоэкосистемах на пустырях между улицами Красная и Первомайская. Вдоль самих этих улиц в 2013 г. проводились дезактивационные мероприятия, благодаря которым значения МЭДГИ снижены до 0,10-0,15 мкЗв/ч. Коэффициент вариации МЭДГИ на высоте 1 м для обследованной территории (площадью 1 x 1 км) в 2016 г. составлял 58 %, в 2018 – 65 %. Распределения значений МЭДГИ не подчинялись нормальному закону, но удовлетворяли логнормальному закону.

В ореоле загрязнения значения МЭДГИ на поверхности почвы увеличены на 0,05-0,10 мкЗв/ч по сравнению со значениями на высоте 1 метр. Это обусловлено тем, что почва, загрязненная ^{137}Cs , выступает источником гамма-излучения, и с увеличением высоты уровень МЭДГИ уменьшается. Сравнение пространственно сопряженных значений МЭДГИ, полученных в 2016 и 2018 гг., показывает уменьшение ($p = 0,05$) этого показателя в двухлетней динамике, связанное с проведением дезактивационных работ, радиоактивным распадом ^{137}Cs и его рассеиванием в ходе своей вертикальной и латеральной миграции в почве.

Коэффициент корреляции Спирмена между значениями МЭДГИ на высоте 0 и 1 метр составляет +0,77 и является статистически значимым ($p = 0,05$). Коэффициенты корреляции для значений удельной активности ^{137}Cs в слое почвы с дозиметрическими показателями также значимы и составляют с МЭДГИ на поверхности почвы: +0,84, с МЭДГИ на высоте 1 метр: +0,82. Эта корреляция отражает прямые связи между ними. Пространственное варьирование МЭДГИ обусловлено уровнями загрязнения ^{137}Cs в почвах на территории вблизи ЭЗТМ.

Работа выполнена при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ВОДЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Мойса С.С.

Государственный научный центр Российской Федерации ИМБП РАН, г. Москва, Россия
butalana07@list.ru

Вода способна отражать внешние факторы воздействия в своих структурных изменениях, которые соответственно оказывают непосредственное влияние на физиологические процессы в организме. В XX веке в связи с открытием космических лучей исследователи стали особенно пристально рассматривать воду в качестве естественного сенсора воздействий Космоса на Биосферу. Для более глубокого понимания механизма влияния космо-геофизических факторов на живые организмы следует уделять особое внимание изучению таких физических свойств

водной среды, как окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и водородный показатель (рН). Как считал А.-Л. Лавуазье, «жизнь – непрерывная цепь окислительно-восстановительных процессов», протекающих в организме, интегральным показателем которых является величина ОВП биологических сред организма. По мнению И.М. Бахир ОВП следует считать гомеостатической характеристикой биологических сред организма. В основу наших исследований положено представление последних лет, что в природе отклика живых организмов на внешние факторы окружающей среды лежат окислительно-восстановительные химические реакции, составляющие основу обменных, регуляторных и других процессов в живых организмах. В связи с этим исследования были посвящены изучению безреагентной активации воды, главным образом, усилению химической активности молекул воды под воздействием характерных для космического полета малых доз (< 10 сГр) ионизирующего излучения (ИИ). В модельных экспериментах радиационная обработка воды проводилась α -, α_1 -, β -, β_1 -источниками ^{239}Pu , ^{90}Sr - ^{90}Y и γ -квантами от источника ^{137}Cs . Использовали источники различной активности: α – в 70 раз был активнее α_1 , β – в 14 раз активнее β_1 . α , α_1 -активность – 15 кБк, расчетная плотность энергии – $6,7 \times 10^{-8}$ Вт/см², мощность поглощенной дозы α_1 3,4 мкГр/час, для α – 240 мкГр/час. β , β_1 – максимальная энергия 2,24 МэВ, накопленная доза 12,3 мкГр при мощности дозы 37 мкГр/час для β_1 , для β – 173 мкГр при мощности дозы 520 мкГр/час. γ -кванты – максимальная энергия 660 кэВ, накопленная доза – 20-25 сГр при мощности дозы ~ 690 мкГр/час. Природный радиационный фон во время проведения опытов составлял 37 мкР/час. Действию каждого вида частиц подвергалась открытая поверхность воды в отдельно расположенных сосудах. Облучение воды в отсутствие биологических объектов проводилось при комнатной температуре 22-24 °С в химических стаканах объемом 200 мл. Источник излучения располагали на стакане вплотную к поверхности воды (но без прямого соприкосновения с ней). Время радиационного воздействия на каждую порцию воды составляло 20 минут. Все исследования проведены на воде высокой очистки (деионизованная с исх. уд. проводимостью 0,3 мкСм/см²), с этой целью дистиллированную воду подвергали многоступенчатой очистке ионообменным методом на установке ООО «Гидротех», Москва. Показано, что малые дозы ИИ изменяли окислительно-восстановительные свойства воды в зависимости от вида и поглощенной дозы источника радиации. При воздействии на воду каждого из исследуемых источников радиации установлено повышение величины ОВП и снижение величины рН по сравнению с исходным уровнем, что свидетельствует о повышении окислительных свойств воды. Максимальное повышение величины ОВП на 148 % и минимальное снижение величины рН воды только на 3 % отмечалось под влиянием β -источника. Максимальное снижение величины рН на 60 % наблюдалось под влиянием γ -излучения. Таким образом, можно заключить, что воздействие малых доз изученных источников радиации на физико-химические свойства и состояние воды приводит к ацидификации воды, т.е. снижению величины рН, повышению величины ОВП и окислительных свойств.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ ЗА САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНОЙ УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СЕВЕРНЫЙ КАРАМУРЫН»

Мусаева Э.М., Кашкинбаев Е.Т., Куанышкалиева А.К., Имашева Б.С., Бижанова Д.С.

Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

mussayeva.e@amu.kz

Республика Казахстан занимает первое место по добыче и второе место в мире по запасам урана. На территории Казахстана урановые рудники сосредоточены в шести урановых провинциях: Балхаш, Прикаспийский, Или, Северо-Казахстанский, Шу-Сарысу и Сырдаринский. Из шести урановых провинций 20 % запаса урана приходится на Сырдаринскую провинцию, где добыча урана ведется методом подземного выщелачивания.

Известно, что метод подземного выщелачивания имеет ряд экологических преимуществ перед способами шахтной и карьерной добычи руды. Однако необходимо учитывать, что уран и другие радионуклиды при подземном выщелачивании переходят в более подвижное состояние и при повреждениях технологического оборудования могут мигрировать, увеличивая уровень радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Целью данного исследования было изучение радиационной обстановки территории за санитарно-защитной зоной уранового месторождения «Северный Карамурын» Кызылординской области.

В ходе исследования были применены радиологические методы исследования (автомобильная, пешеходная гамма-съемка). Были определены виды растений, произрастающие на месторождении «Северный Карамурын» для дальнейшей оценки степени миграции радионуклидов по цепи «почва-растение». Для лабораторного радиоспектрометрического и радиохимического анализов были отобраны 20 проб почвы и 14 проб растений.

В результате проведенной автомобильной гамма-съемки установлено, что за санитарно-защитной зоной уранового месторождения «Северный Карамурын» мощность амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения (МАЭД ГИ) варьирует от 0,09 до 0,19 мкЗв/час, при фоновом значении местности 0,10 мкЗв/час. По результатам пешеходной гамма-съемки выявлены радиоактивно-загрязненные участки, где МАЭД ГИ достигает до 7,5 мкЗв/час. Проведенные лабораторные исследования проб почвы показали, что в радиоактивно-загрязненных участках удельная активность ^{226}Ra варьирует от 42,3 Бк/кг до 5 437,3 Бк/кг, ^{232}Th от 115,6 Бк/кг до 6 797 Бк/кг, что превышает среднереспубликанское значение (^{226}Ra 37 Бк/кг, ^{232}Th 60 Бк/кг).

Помимо этого, в ходе исследования были определены доминирующие виды растений: Солодка гладкая (*Glycyrrhiza Glabra L.*), Карелиния каспийская (*Karelinia caspia L.*), Рогач (*Ceratocarpus arenarius L.*), Полынь (*Artemisia s.*), Песчаная акация двулистная (*Ammodendron bifolium*), Верблюжья колючка обыкновенная (*Alhagi pseudalhagi*), Тростник обыкновенный (*Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.*), Вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis L.*), Дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium L.*), Гребенщик ветвистый (*Tamarix ramosissima Ledeb.*). Для оценки вероятных путей миграции радионуклидов по цепи «почва-растение» проводятся лабораторные исследования на содержания радионуклидов в пробах растений.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ^{241}Am И ^{137}Cs НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ БЕЛАРУСИ

Нилова Е.К.¹, Бортновский В.Н.², Тагай С.А.³, Дударева Н.В.³, Никитин А.Н.³

¹ГНТУ Центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Минск, Беларусь

²УО Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

³ГНУ Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель, Беларусь

Катастрофа на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в эколого-медицинском плане признана исключительно тяжелой для агропромышленного комплекса и сельских жителей. На территории Республики Беларусь радиоактивному загрязнению ^{137}Cs подверглось более 1,8 млн. га (или 21 % общей площади) сельскохозяйственных земель. С учетом удельного веса загрязненных территорий к наиболее пострадавшим отнесен 21 район, из них 13 районов в Гомельской области. Для южных районов области, прилегающих к зоне отчуждения ЧАЭС, характерно присутствие трансурановых элементов (ТУЭ) – ^{241}Am и $^{238, 239, 240, 241}\text{Pu}$. При снижении уровня ^{137}Cs (убыль за счет распада составляет 2,3 % в год), ^{241}Am является единственным радионуклидом, содержание которого возрастает ввиду распада ^{241}Pu . Прогнозные расчеты показывают, что к 2060 г. активность ^{241}Am превысит суммарную активность изотопов плутония в 2 раза. Необходимо также учитывать, что ^{241}Pu ($T_{1/2} = 14,3$ лет) является мягким бета-излучателем, а его дочерний ^{241}Am ($T_{1/2} = 432$ года) – жесткий альфа-

излучатель, распадается с испусканием высокоэнергетических α -частиц ($E_{\alpha} = 5485,6$ кэВ, 5442,9 кэВ). Как и другие альфа-излучающие изотопы $^{238,239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am характеризуется высокой радиотоксичностью, по степени радиационной опасности относится к группе «А». Все ТУЭ являются остеотропами, при поступлении через желудочно-кишечный тракт или ингаляции с пылью концентрируются в костной ткани или накапливаются в легких.

В современный период для ситуации существующего облучения, учитывая увеличение ^{241}Am , важным является уточнение содержания этого радионуклеида при сопоставлении с ^{137}Cs . Оценка выполнена для двух южных районов Гомельской области Беларуси. Получены актуальные данные по содержанию ^{241}Am и ^{137}Cs в почве и продуктах питания местного производства на 103 приусадебных участках в 28 населенных пунктах Брагинского района и 96 участках в 30 населенных пунктах Хойникского района. Определение ^{241}Am в продуктах выполняли радиохимическим методом с использованием селективных экстракционно-хроматографических смол и альфа-спектрометрии. Определение ^{241}Am в почве, ^{137}Cs в почве и продуктах выполняли гамма-спектрометрическим методом.

Установлено, что плотность современного загрязнения почвы ^{241}Am на территории обследованных населенных пунктов не превышает 4 кБк/м², при этом загрязнение ^{137}Cs на один-два порядка величины выше и варьируется в диапазоне от 30 до 560 кБк/м². Удельная активность почвы ^{241}Am не превышает 10 Бк/кг в большинстве населенных пунктов, за исключением единичных подворий, где содержание ^{241}Am достигает 16 Бк/кг. Превышений установленных нормативов по содержанию ^{137}Cs в картофеле, овощах и зерне – 80, 100 и 90 Бк/кг, соответственно, не установлено. Содержание ^{241}Am в основных компонентах рациона, производимых в частном секторе, варьирует от единиц до десятков мБк/кг, что на три порядка величины ниже удельной активности ^{137}Cs . В структуре ожидаемой дозы внутреннего облучения населения от ^{241}Am преобладает ингаляционная составляющая, которая более чем на порядок превышает дозу облучения от перорального поступления ^{241}Am . При выполнении полевых работ на приусадебных участках наблюдаемые уровни содержания ^{241}Am в почве могут обусловить 85-98 % дозы внутреннего облучения жителей за счет ингаляционного поступления ^{241}Am и ^{137}Cs . Максимальная ожидаемая доза внутреннего облучения от ^{137}Cs превышает 1 мЗв/год для жителей 9 населенных пунктов, составляет 1,7 мЗв/год в населенном пункте Брагин, при этом максимальная доза внутреннего облучения от ^{241}Am во всех населенных пунктах – не превышает 0,04 мЗв/год. Таким образом, формирование дозы внутреннего облучения населения южных районов Гомельской области преимущественно обусловлено поступлением ^{137}Cs пероральным путем.

ЛИНЕЙНО-БЕСПОРОГОВАЯ ГИПОТЕЗА ПРИВОДИТ К НЕЛИНЕЙНОСТИ ОТКЛИКА ДЕСКРИПТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА

В.Ф. Обеснюк

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия

v-f-o@subi.su

Как известно, линейная беспороговая гипотеза (ЛБГ) – это модель ожидаемой зависимости биологического эффекта от дозы воздействия ионизирующей радиации. Используя этот термин, исследователи обычно делают акцент как на возможном факте отсутствия порога для стохастических (онкологических) эффектов, так и на собственно линейном характере зависимости эффекта в некоторой области условно малых кумулятивных эквивалентных доз, например, менее 100 мЗв или менее 1 Зв. Исключительная роль ЛБГ связана, прежде всего, с ее основным положением в области политики общественного здравоохранения, устанавливающей нормативные пределы допустимой дозы в целях защиты от воздействия радиации. При этом и само понятие ее величины, измеряемой в эффективных единицах (Зв), также базируется на основе общепризнанной разновидности ЛБГ, предложенной в 1975 г. Вольфгангом Якоби. Ее особенность заключается в том, что под словом «эффект» Якоби подразумевал в качестве меры

эффекта использование исключительно кумулятивного значения годового показателя онкологического риска за определенный период наблюдения, т. е. такую величину, которая сама по себе не является ни риском (вероятностью наступления нежелательного эффекта), ни годовым его показателем. Позиция В. Якоби поддержана МКРЗ в виде принятия концепции номинального коэффициента риска, положенного в основание действующих норм радиационной безопасности практически всех стран.

В отличие от этого, большинство экспертов в практике исследований ищут проявления ЛБГ в существенно более широком контексте, например, ожидая линейность дозового тренда для сокращения продолжительности жизни или для изменения самих дескриптивных годовых показателей риска (так называемый «абсолютный риск»), или же их отношений («относительный риск»). Это видно по массовому использованию коэффициента радиочувствительности ERR/Sv, являющегося избыточным значением отношения показателей при дозе в 1 Зв. Можно утверждать, что поиск величины ERR/Sv стал «золотым стандартом» исследований, но, как известно, они не всегда заканчиваются подтверждением ЛБГ. Причина в том, что кумулятивный эффект Якоби – это число, а годовой показатель риска – это процесс во времени в течение жизни когорты. В последнем случае его невозможно уложить в ограниченные рамки «доза-эффект» ни за счет фиксации времени (возраста когорты), ни за счет искусственного усреднения по возрастным группам. Например, нарушение ЛБГ можно видеть в непостоянстве радиочувствительности при изучении заболеваемости злокачественными новообразованиями щитовидной железы (ERR/Sv изменяется от положительных $9,5 \text{ Зв}^{-1}$ для возрастной группы 0-9 лет и до отрицательных значений $-0,2 \text{ Зв}^{-1}$ для возрастной группы 40+ лет; Thompson D.E., Mabuchi K., Ron E. et al., 1994) одновременно с заметным отклонением от линейного закона в когорте LSS.

На примере численного моделирования интенсивности упомянутого заболевания показано, что факты парадоксального поведения ERR/Sv могут быть удовлетворительно истолкованы в рамках комбинированного применения концепции уязвимой подгруппы и ЛБГ в рамках исследовательского принципа «доза-время-эффект». Точнее, речь идет о двукратном применении ЛБГ: к вероятности перехода «здоровые-уязвимые» и к интенсивности перехода «уязвимые-заболевшие». При этом одновременно установлено, что радиочувствительность при использовании стандартизации показателей может снижаться до кажущегося значения $2,3 \text{ Зв}^{-1}$, а при подсчете условного пожизненного риска – до $0,87 \text{ Зв}^{-1}$ для облученных в раннем детском возрасте. Последнее значение парадоксально соответствует Публикации 147 МКРЗ. Таким образом, ни концепция номинального коэффициента риска, ни показатель радиочувствительности ERR/Sv не вскрывают деталей радиационно-эпидемиологического эффекта на основе одного лишь дескриптивного анализа.

ОЦЕНКА СРЕДНЕГОДОВОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ КАРТОФЕЛЯ И ЛУКА, ВЫРАЩЕННЫХ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОСТ-ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Кузьменкова Н.В., Турыкин Л.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

tparamonova@soil.msu.ru

В результате радиоактивных выпадений ^{137}Cs после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) более 350 тыс. га сельскохозяйственных земель в пределах Европейской части России, загрязненных на уровне $185\text{-}555 \text{ кБк/м}^2$, согласно закону РФ от 15.05.1991 № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», вошли в зону проживания с правом на отселение. По данным обследования радиэкологического состояния этих территорий через 30 лет после ЧАЭС ($\approx T_{1/2}^{137}\text{Cs}$), около 145 тыс. га пахотных земель в Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областях все еще сохраняли подобный статус, что определяло возможность ведения сельского

хозяйства только на основе регулярного радиометрического контроля растительной продукции, получаемой на пахотных и сенокосных угодьях. При этом вплоть до настоящего времени областные службы Центров химизации и сельскохозяйственной радиологии спорадически выявляют случаи неполного соответствия сельскохозяйственной продукции радиационно-гигиеническим и ветеринарным нормам.

Независимая оценка современных уровней накопления ^{137}Cs в картофеле (*Solanum tuberosum*) сорта Гала и лука репчатого (*Allium cepa*) сорта Манас производилась в 2021 г. на территории Плавского района Тульской области, пахотные черноземы которой в 1986 г. были загрязнены ^{137}Cs с 5-15-кратным превышением допустимого уровня. Помимо непосредственного анализа величин удельной активности ^{137}Cs в картофеле и луке оценивали также годовые эффективные дозы внутреннего облучения населения от ^{137}Cs за счет потребления этих овощей в объеме, соответствующем национальным нормам рационального питания (90 и 10 кг/чел. в год соответственно).

Установлено, что текущая плотность загрязнения опробованных пахотных черноземов составляет 140 ± 28 кБк/м² в агроценозе картофеля и 58 ± 7 кБк/м² в агроценозе лука репчатого, что эквивалентно 1,5-4-кратному превышению нормативов допустимого содержания радионуклида в почвах. При этом благодаря прочной необменной сорбции ^{137}Cs в глинистых почвах и низкой интенсивности корневого поглощения радионуклида растениями, величины его удельной активности в сырой массе клубней картофеля и луковицах лука составляли не более $2,1 \pm 1,7$ и $0,07 \pm 0,04$ Бк/кг соответственно (в абсолютно сухой массе $4,5 \pm 0,3$ и $0,8 \pm 0,4$ Бк/кг соответственно), что полностью удовлетворяет требованиям радиационно-гигиенических стандартов.

Оценка средней индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения, инициированной ^{137}Cs при потреблении продукции картофеля и лука, выращенных на территории Плавского радиоактивного пятна (с допущением использования исключительно одного источника питания), показала, что она составляет $2,3 \times 10^{-3}$ и $9,4 \times 10^{-6}$ мЗв/год, соответственно, что не превышает 0,25 % от максимально допустимой годовой дозы облучения человека от антропогенных источников.

Таким образом, использование в пищу картофеля и лука, произведенных на радиоактивно загрязненных землях черноземной зоны европейской части России, не создает для населения экологических рисков по критерию накопления в продукции растениеводства ^{137}Cs , что определяет возможность и целесообразность включения данных сельскохозяйственных культур в севооборот.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ ВБЛИЗИ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Прманова А.Г.¹, Бахтин М.М.¹, Алтаева Н.З.²

¹Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

²Кафедра молекулярной биологии и медицинской генетики, г. Астана, Республика Казахстан
pirmanova.a@amu.kz

Казахстан является одним из лидеров по добыче и переработке урана, владея 12 % его мировых запасов. Одним из крупнейших урановых предприятий в стране является Степногорский горно-химический комбинат (СГХК), основным видом деятельности которого является переработка урановой руды. СГХК, кроме гидromеталлургического завода включает в себя хранилище радиоактивных отходов с площадью 7,82 км² и массой радиоактивных отходов 44,17 млн. тонн с активностью 146,4 тыс. Ки. На территории хвостохранилища радиоактивных отходов Службой радиационной и токсической безопасности предприятия проводятся мониторинговые исследования по оценке радиационной ситуации. Вопросы радиационного контроля территории за санитарно-защитной зоной хранилища радиоактивных отходов,

определение возможных путей и механизмов текущего и потенциального распространения радиоактивных веществ в объекты окружающей среды являются актуальными.

Целью данной работы является оценка радиационной обстановки территории за санитарно-защитной зоной хранилища радиоактивных отходов СГХК.

В 2022 г. нами были проведены пешеходная и автомобильная гамма-съемки территории за санитарно-защитной зоной хвостохранилища СГХК и в контрольной зоне. В данных участках измеряли мощность AMBIENTной эквивалентной дозы (МАЭД) гамма-излучения и плотности потоков α - и β -частиц. Были отобраны пробы объектов окружающей среды. Проведены лабораторные радиохимические и радиоспектрометрические исследования по определению содержания радионуклидов. Анализ суммарной α - и β -активности объектов окружающей среды проводился на радиометре с кремниевым детектором «УМФ-2000». Измерения удельной активности радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{137}Cs и ^{232}Th в образцах почвы проводили на стационарном сцинтилляционном гамма-бета-спектрометрическом комплексе «Прогресс-БГ».

Полученные нами результаты согласуются с предыдущими исследованиями (Казымбет и др., 2018). По результатам проведенного нами исследования установлено, что наиболее высокие концентрации радионуклидов зафиксированы в верхних слоях почвы (0-5 см), отобранных в северной и северо-восточной части территории хвостохранилища. МАЭД гамма-излучений в данных местах варьирует от 0,09 мкЗв/ч до 0,71 мкЗв/ч. В образцах почвы, отобранных на глубине 0-5 см на расстоянии 400 м от санитарно-защитной зоны хранилища удельная активность ^{232}Th в 3 раза, а ^{226}Ra в 37 раз превышает контрольное значение. В северной части хвостохранилища радиоактивных отходов нами впервые выявлен радиоактивно загрязненный участок, площадью 420 м², где МАЭД гамма-излучения достигает до 0,33 мкЗв/ч. В пробах почвы удельные активности ^{232}Th и ^{226}Ra до 4 раз превышают контроль.

Проведенные исследования позволили выявить ряд радиоактивно загрязненных территорий за пределами санитарно-защитной зоны хранилища радиоактивных отходов СГХК, выраженных в загрязнении почвы, с максимальной концентрацией радионуклидов в верхних слоях. Полученные результаты указывают на необходимость дальнейших наблюдений за санитарно-защитной зоной хвостохранилища СГХК.

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ОБЪЕКТОВ ВЕТЕРИНАРНОГО НАДЗОРА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рахматуллина Г.И., Ишмухаметов К.Т., Вагин К.Н., Юнусов И.Р., Галлямова М.Ю.
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Россия
vnivi@vnivi.ru

Наследием XX века является глобальное загрязнение окружающей среды экотоксикантами, как следствие деятельности человека в сфере промышленного производства, научных исследований, медицины и сельского хозяйства. При этом немаловажную роль в глобализации загрязнений играют искусственные радионуклиды, что связано с разработкой и испытанием на полигонах нашей страны в послевоенные годы атомного оружия, авариями на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС. Определенный вклад вносят захоронения отработанного топлива ядерных реакторов атомных подводных лодок и кораблей в северных регионах страны.

Спустя 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС содержание радионуклидов и радиационный фон снизились более чем в два раза. Тем не менее, радиоизотопы (Cs^{137} , Sr^{90} и др.) выявляются в сельскохозяйственной продукции и в настоящее время. В связи с этим интерес к Брянской области, как к наиболее пострадавшему субъекту в РФ, не ослабевает. В двух сельскохозяйственных предприятий Брянской области – ООО «Фермерские угодья» Красногорского района и колхозе «Прогресс» Клинцовского района были отобраны образцы сельхозпродукции и почвы согласно ГОСТ Р 58972-2020 и доставлены в ФГБНУ «ФЦТРБ-

ВНИВИ» для радиометрического исследования с использованием альфа-, бета- и гамма-спектрометрических комплексов «Прогресс» и «Радэк».

Проведенные исследования показали, что в образцах грубых кормов Брянской области (4 пробы) содержание Cs^{137} в сене составляло 6,9-14,3 Бк/кг, в соломе – 7,1-32,4 Бк/кг. Содержание Sr^{90} в сене – 1,1-32,6 Бк/кг, в соломе 11,8-1,7 Бк/кг.

Сочные корма представлены силосом кукурузным и сенажом разного состава. Средняя удельная активность сочных кормов по Cs^{137} составляла 11,9-12,4 Бк/кг, в т. ч. в силосе – 7,8-15,9 Бк/кг, в сенаже – 6,4-18,3 Бк/кг. Наиболее высокое загрязнение Cs^{137} было зарегистрировано в силосе и сенаже из ООО «Фермерские угодья». Содержание Sr^{90} в сочных кормах – 2,7-9,6 Бк/кг, в т. ч. в силосе – 3,2-16,0 Бк/кг, сенаже – 1,8-3,6 Бк/кг.

Концентрированные корма представлены комбикормами, зерновыми и бобовыми культурами. Содержание Cs^{137} в зернофуражах и зерновых в среднем составляло – 11,6 Бк/кг, в том числе в фураже в среднем 34,3 Бк/кг, в пшеничных отрубях – 5,3-17,3 Бк/кг, в горохе – 6,4-13,3 Бк/кг, в пшенице – 4,1-11,0 Бк/кг, в кукурузе в среднем 16,8 Бк/кг.

Проведенные исследования показали, что вся растениеводческая продукция местного производства соответствует установленным нормам СанПиН 2.3.2.1078-01.

Загрязнение территорий Брянской области радионуклидами спустя 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС значительно снизилось. Несмотря на это локально регистрируются пятна с удельной активностью почвы по Cs^{137} выше 40 Ки/км². Радиационный фон при этом находится в пределах допустимых значений. Радиационно-гигиеническая экспертиза грубых, сочных и концентрированных кормов для животных не выявила превышения уровня по Cs^{137} и Sr^{90} , в связи с чем они могут использоваться по назначению без ограничения.

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ СТРАН ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В ПЕРИОД РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Серегин В.А., Шандала Н.К., Гущина Ю.В., Бельских Ю.С.,

Филонова А.А., Старинский В.Г., Шитова А.А.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

vseregin@fmbcfmba.ru

Межгосударственной целевой программой (далее – Программа) «Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» предусмотрена рекультивация двух объектов уранового наследия в Киргизской Республике – одно хвостохранилище в районе расположения с. Каджи-Сай и четыре хвостохранилища в районе расположения с. Мин-Куш. В Республике Таджикистан объектами рекультивации являются хвостохранилища и бывшие урановые производства в районе г. Истиклол.

Основной целью реализации Программы является снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций с радиоэкологическими последствиями на территориях государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих и перерабатывающих производств, отработки средств и технологий рекультивационных работ, а также обеспечения безопасных условий проживания и социальной реабилитации населения в районах расположения объектов уранового наследия.

Важными задачами Программы, которые реализуются ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, являются мониторинг окружающей среды и здоровья населения, проживающего на территориях, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств, и оценка возможного риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний.

Проведение исследований согласно разработанным программам позволило оценить уровни облучения населения, выявить изменения по сравнению с предыдущими оценками, дать прогноз состояния радиационной обстановки в целом или отдельных ее показателей. Комплексная оценка доз облучения населения, в совокупности с результатами анализа данных

медицинской статистики, необходима для установления причин неблагоприятного изменения радиационных факторов среды обитания, установления возможного вредного воздействия на здоровье населения и разработки рекомендаций по его снижению.

За период участия в Программе была выполнена комплексная оценка доз облучения населения, проживающего в районах расположения рекультивируемых объектов и на контрольных территориях, с учетом вклада внутреннего облучения за счет потребления местных пищевых продуктов, питьевой воды и ингаляционного поступления дочерних продуктов распада радона.

Показаны достоверно более высокие уровни облучения населения в районах расположения бывших урановых производств, которые составили 5,78 мЗв/год (пос. Каджи-Сай), 5,93 мЗв/год (с. Мин-Куш) и 12,61 мЗв/год (г. Истиклол). Основным компонентом, определяющим наибольший вклад в дозу облучения населения, является радон и продукты его распада за счёт ингаляционного поступления.

Проведенный сравнительный анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями населения районов расположения хвостохранилищ и контрольных территорий за продолжительный период времени позволил сделать вывод о возможном влиянии радиационного фактора на уровень заболеваемости населения.

В настоящее время реабилитация на объекте в пос. Каджи-Сай завершена, продолжаются работы по мониторингу окружающей среды в период рекультивации в с. Мин Куш Киргизской Республики и в период выполнения работ в г. Истиклол Республики Таджикистан.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ 30-КМ ЗОНЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОДЭК

Соломатин В.М., Иванов В.К., Спиринов Е.В.

АО «Прорыв», г. Москва, Россия

svm@proryv2020.ru

Воздействие на окружающую среду предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) существенно отличается на различных этапах. Сравнительная оценка воздействия различных видов производства атомной энергии, включая не только энерго-генерирующую часть, но и все остальные компоненты энергетических систем является актуальной экологической задачей. Решение этой задачи должно выполняться уже на стадии проектирования и выбора региона для размещения радиационно опасных объектов. Для оценки воздействия радиационно опасного объекта на окружающую среду необходимо проводить оценку современной экологической ситуации в регионе строительства, для определения фактической радиационной обстановки в районе размещения объектов (нулевой уровень, фон), сложившейся в результате воздействия техногенных источников излучения, уровня радиации от естественных источников излучения и глобальных радиоактивных выпадений.

В соответствии с проектом «Прорыв» на территории Сибирского химического комбината (г. Северск Томской области) ведется строительство и планируется ввод в эксплуатацию опытно-демонстрационного энергокомплекса (ОДЭК) с реактором на быстрых нейтронах и комплексом по замыканию топливного цикла. В результате предшествующей деятельности АО «СХК» в окружающей среде, помимо захоронений радиоактивных отходов (РАО), в зоне наблюдения сохраняется остаточное количество радионуклидов, распределение которых по природным и сельскохозяйственным объектам должно учитываться при введении в эксплуатацию новых предприятий ЯТЦ.

Для создания подробного описания современного радиологического состояния размещения объектов ОДЭК было выполнено комплексное экологическое обследование наземных (аграрные, лесные, луговые) и водных экосистем. Полученные результаты по содержанию природных и техногенных радионуклидов, а также максимальные из

зарегистрированных удельных активностей радионуклидов в компонентах природной среды в районе расположения АО «СХК» ниже допустимых величин по НРБ-99/2009.

В 2019 г. полученные материалы были опубликованы в виде «Атласа радиоэкологической обстановки в 30-км зоне АО «СХК».

В период функционирования объектов ОДЭК, а также при выводе их из эксплуатации, материалы, полученные в результате проведенного комплексного обследования, позволят подтвердить экологическую безопасность комплекса, как для населения, так и для окружающей среды.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОГНОЗНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАСЕЛЕНИЕ ЗА СЧЕТ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ СЦЕНАРИЕВ РЕЖИМОВ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ОДЭК

Соломатин В.М., Иванов В.К., Спирин Е.В., Авраменко С.С.

АО «Прорыв», г. Москва, Россия

svm@proryv2020.ru

Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации определяют необходимость обеспечения ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии с учетом современных требований. В частности, должны быть выполнены оценки безопасности и величины потенциального облучения при нормальной эксплуатации и в случае нештатных ситуаций. В Российской Федерации требования к допустимым уровням облучения и величинам для их оценки определены в действующих нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009) и основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).

Одним из основных способов обоснования радиационной безопасности населения и персонала на стадии проектирования объекта использования атомной энергии является моделирование сценариев режимов работы установки при нормальной эксплуатации и сценариев аварийных выбросов, а также их возможного радиологического воздействия. Для этого используются специализированные компьютерные коды, позволяющие проводить расчеты атмосферного переноса радиоактивных веществ, их осаждение на подстилающую поверхность по историческим данным метеорологических наблюдений и выполнять оценку доз облучения для референтных групп населения.

В результате изучения воздействия выбросов при эксплуатации модулей опытно-демонстрационного энергетического комплекса (ОДЭК), на основе расчетов атмосферного переноса, были получены исходные данные для проведения оценок радиологических рисков, эквивалентные дозы на 23 органа и эффективная доза за счет метеорологического фактора. Эти данные учитывают динамику формирования дозы после поступления в организм, необходимую для учета факторов неопределенности моделей радиационных рисков Международной комиссии по радиологической защите (Публикация 103 МКРЗ).

Проведенный анализ прогнозируемых доз облучения на предмет удовлетворения требованиям НРБ-99/2009 показал, что для проектных аварий установленные дозовые пределы превышены не будут. Выбросы при нормальной эксплуатации лежат в пределах установленных квот с запасом в несколько порядков величины. В то же время следует отметить, что в случае аварий основной вклад в ожидаемые дозы облучения связан с пероральным поступлением при потреблении продуктов местного производства.

Прогнозные оценки радиологических рисков населения, проживающего вблизи ОДЭК, обусловленных выбросами при нормальной эксплуатации, были выполнены с учетом факторов неопределенности моделей рисков, полученных на основе моделей радиационных рисков Международной комиссии по радиологической защите (Публикация 103 МКРЗ), для метрик пожизненного атрибутивного риска, по 5-летним половозрастным группам населения,

проживающего вблизи ОДЭК, и по следующим злокачественным новообразованиям: а) лейкозы, б) все солидные злокачественные новообразования в совокупности.

Полученные данные показали, что для всех рассмотренных сценариев атмосферных выбросов радиоактивных веществ при нормальной эксплуатации модулей ОДЭК, индивидуальные пожизненные риски населения, проживающего вблизи АО «СХК» в Томской области России, намного меньше соответствующих предельных значений, установленных НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010.

ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ОТ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Тайлашева К.А.

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

kat14@tpu.ru

Крупные промышленные предприятия металлургического и топливно-энергетического комплексов являются источниками загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами. Выбросы предприятий проходят через системы очистки перед поступлением в атмосферу, но они не очищаются полностью от мелкодисперсных частиц пыли, содержащих тяжелые металлы и другие химические элементы, обладающие сильным токсическим и канцерогенным действием даже при малых концентрациях. Когда пыль попадает в органы дыхательной системы человека, наблюдается максимально выраженный токсический эффект тяжелых металлов. Именно мелкодисперсные частицы представляют наибольшую опасность для человека, так как они способны достигать легочных альвеол и адсорбироваться легкими. В связи с этим большой интерес представляет оценка уровней загрязнения приземного слоя атмосферы тяжелыми металлами и другими химическими элементами в зонах влияния крупных предприятий металлургического и топливно-энергетического комплексов, а также их зависимость от природно-климатических условий.

Выбросы крупных предприятий могут переноситься на расстояния более 15 км. При отдалении от источника загрязнения содержание примеси в атмосферном воздухе уменьшается, поэтому на таких больших расстояниях количество загрязняющих веществ в воздухе будет сравнительно небольшим. Инструментальные методы измерения концентраций химических элементов в атмосферном воздухе в этом случае непригодны, так как для получения достоверных результатов необходим большой период экспозиции. В данном случае для измерения функций распределения загрязняющих веществ выбросов предприятий может использоваться метод мхов-биоиндикаторов, основанный на сравнительном анализе концентраций химических элементов во мхах, отобранных на исследуемой и фоновой территориях, период экспозиции для которого составляет от нескольких недель до нескольких лет. В данной работе был использован активный метод мхов-биоиндикаторов, при котором отобранные на условно чистой территории мхи размещаются на деревьях исследуемой местности на специальных планшетах. Для анализа результатов биомониторинга применяется математическое моделирование пространственных распределений выбросов с помощью диффузионно-конвективного уравнения переноса.

Для исследования в качестве источников загрязнения были выбраны алюминиевый завод (г. Красноярск) и угольная ТЭЦ (г. Новосибирск). Функции распределения химических элементов, содержащихся в выбросах предприятий, вдоль выбранных направлений были изучены с помощью эпифитного мха *Ryloisia polyantha* (Hedw.). Концентрации химических элементов в образцах мха были измерены с помощью нейтронно-активационного анализа и атомно-эмиссионной спектрометрии. Природное содержание химических элементов в используемом виде мха измерено в фоновых образцах, отобранных на расстояниях 50 км и более от населенных территорий.

Оценка уровней загрязнения приземного слоя атмосферы тяжелыми металлами проведена с помощью статистической обработки и регрессионного анализа результатов измерения концентраций химических элементов в образцах мха-биоиндикатора. Проведен анализ влияния на уровни загрязнения различных параметров, таких как повторяемость и средняя скорость ветра в исследуемых направлениях, количество осадков за время экспозиции и усредненная за период экспозиции температура воздуха.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ БИОМОНИТОРИНГА

Татаринцева М.А., Рогова Н.С., Рыжакова Н.К.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
rogova@tpu.ru

При проведении экологических исследований особый интерес представляет изучение загрязнения приземного слоя атмосферы тяжелыми металлами и другими химическими элементами, обусловленное наиболее мощными источниками. Особый интерес представляют зоны влияния крупных предприятий топливноэнергетической и металлургической промышленности. Вследствие небольшой концентрации вредных веществ на удаленных от источника расстояниях, измерения функций распределения будут проводиться с использованием мхов-биоиндикаторов.

Экспериментальное изучение распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе является очень трудоемкой задачей, требующей больших финансовых и временных затрат. Загрязняющие вещества от высотных источников переносятся на расстояние 10-15 км и более. Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на таких больших расстояниях сравнительно невелико. В данном случае традиционные инструментальные методы измерения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе малопригодны, так как для получения достоверных результатов требуются очень большое время экспозиции. Для определения содержания тяжелых металлов и других токсичных элементов в приземном слое атмосферы активно развиваются биомониторинговые методы наблюдения, которые позволяют контролировать загрязнение атмосферы на больших территориях за продолжительные промежутки времени и обладают высокой чувствительностью к негативным процессам, протекающим в окружающей среде под действием загрязняющих веществ. Наиболее важные экологические особенности мхов как подходящего инструмента для биомониторинга: способны получать питательные вещества из влажного и сухого осадочного слоя; обладают высокой аккумуляционной способностью и большой поверхностью; широко распространены; обычно растут группами; обладают продолжительным жизненным циклом (от 1 года до 15 лет); выживают в сильно загрязненной окружающей среде.

В исследовании использован активный метод биомониторинга. Данный метод включает следующие стадии: отбор и подготовка мха, размещение образцов непосредственно в области исследования, сбор образцов и постэкспозиционная обработка материала образцов перед проведением анализа. В зонах влияния угольной ТЭЦ (г. Новосибирск) и алюминиевого завода (г. Красноярск) были размещены образцы мха на летний и зимний периоды. Для определения содержания химических элементов во мхах проведен нейтронно-активационный анализ и атомно-эмиссионная спектрометрия. Все образцы мха были подготовлены к анализу согласно отработанной нами ранее методике для эпифитного мха.

Проведена оценка уровня загрязненности приземного слоя атмосферы в зоне влияния алюминиевого завода г. Красноярск и угольной ТЭЦ-5 г. Новосибирск. В летний период наблюдения максимальные концентрации большинства химических элементов превышают фоновые значения в 3-4 раза для обоих рассмотренных предприятий. В зимний отопительный сезон концентрации в среднем выросли в 3 раза по сравнению с летними значениями для обоих рассмотренных предприятий.

ПРОЕКТ ГИС СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ОБОРОТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Титов И.Е, Кречетников В.В., Шубина О.А., Кречетникова Е.О.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Россия
titan13_08@mail.ru

В восстановительный период после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) наибольшую актуальность приобретает проблема возвращения в хозяйственный оборот территорий с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, ранее выведенных из землепользования. Для решения этой задачи разработана геоинформационная система (ГИС) современного состояния выведенных из оборота сельскохозяйственных земель Брянской области после аварии на ЧАЭС, в основе которой лежит информация о текущем состоянии отчужденных земель.

В качестве рабочей среды для создания проекта использовался программный модуль ArcMap 10.5, входящий в состав пакета ArcGis. Объектами проекта являются атрибутивные таблицы для хранения пространственно-ориентированной информации, электронные карты для визуализации данных. Проект открыт для внесения новых и редактирования существующих данных в случае необходимости. Вся географическая информация приведена к единой системе координат – WGS84 (NIMA Technical Report TR8350.2, 1997).

Источниками информации для формирования проекта ГИС являлись:

- картографические материалы (топографические и общегеографические карты, карты схемы внутрихозяйственного использования земель);
- данные дистанционного зондирования (космоснимки, представленные Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN);
- материалы полевых изысканий территорий (радиоэкологическое обследование территорий, обследование почвенного покрова, оценка культуртехнического состояния выведенных из оборота земель);
- литературные данные (справочные издания, отчеты).

Создание проекта ГИС современного состояния выведенных из оборота после аварии на ЧАЭС сельскохозяйственных земель Брянской области проходило в два этапа. На первом этапе загружались базовые карты, включающие космические снимки и топографические карты, с последующим поиском необходимого хозяйства, на котором располагаются выведенные из оборота земли, с использованием схем внутрихозяйственного устройства и последующим их наложением на космоснимок.

На втором этапе после наложения схемы внутрихозяйственного устройства выполнялась оцифровка сельскохозяйственных угодий, выведенных из оборота (пашни, сенокосы, пастбища) и производилось занесение атрибутивной информации, соответствующей каждому полученному участку. Затем оцифрованные объекты с набором атрибутивной информации были объединены в группы слоев, отображающих информацию по каждому из хозяйств. Таким образом, структура проекта ГИС современного состояния, выведенных из оборота после аварии на ЧАЭС, сельскохозяйственных земель Брянской области представляет собой каталог данных, содержащий набор слоев, отображающихся в установленном порядке в определенном состоянии карты и в заданной проекции. Всего в состав проекта входит 206 слоев с различной атрибутивной информацией.

Созданные слои содержат следующую картографическую и атрибутивную информацию: расположение полей (участков) хозяйства; тип почвы; вид землепользования; плотность загрязнения сельскохозяйственных угодий ¹³⁷Cs; агрохимические показатели почвы.

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ – ТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ

Шандала Н.К., Лягинская А.М., Охрименко С.Е., Титов А.В., Исаев Д.В., Старинский В.Г.,
Семенова М.П., Метляев Е.Г., Дороньева Т.А., Шитова А.А.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
nshandala@gmail.com

Современная методология радиационно-гигиенических исследований, используемая в работах по обеспечению радиационной безопасности, охватывает объекты и территории всех звеньев ядерно-топливного цикла России и базируется на проведении радиационно-гигиенического мониторинга. Исследовательские гигиенические работы нацелены на совершенствование эколого-гигиенических основ радиационной защиты населения, проживающего на территориях, обслуживаемых ФМБА России. Практически все этапы радиационно-гигиенического мониторинга сопровождаются исследованиями по изучению состояния здоровья населения.

Радиоэкологические исследования в районах бывших береговых технических баз ВМФ, а ныне пунктов временного хранения (ПВХ) ОЯТ и РАО на Северо-Западе и Дальнем Востоке России, а также предприятий, осуществляющих утилизацию АПЛ, позволили оценить воздействие радиационно опасных объектов на окружающую среду и население, проживающее в прилегающих регионах. В результате 20-летних исследований разработан комплекс регулирующих требований в области повышения радиационной безопасности на объектах и территориях ядерного наследия. Оценивая полученные результаты, можно сказать, что на текущий момент работы по выгрузке и вывозу кондиционного ОЯТ не привели к появлению новых очагов загрязнения окружающей среды на территории промплощадки в губе Андреева, а распространение существующего загрязнения по территории санитарно-защитной зоны и за ее пределы не выявлено.

Радиационно-гигиенический мониторинг на территориях проживания населения, ближайших к объектам затопления ядерно- и радиационно опасных объектов в Арктической зоне Российской Федерации проводился в период 2020-2022 гг. Районами исследований явились остров Кильдин, село Териберка (Мурманская область) и поселок Амдерма (Ненецкий автономный округ) – локации предстоящего проведения работ по подъему АПЛ «К-159» и «К-27». Важным результатом данной работы является повышение защищенности населения и окружающей среды при проведении радиационно опасных работ, а также оценка влияния подводных захоронений на содержание техногенных радионуклидов в районах промышленного лова рыбы и на безопасность добычи углеводородов в шельфовой зоне.

В ходе исследований на территориях, нарушенных бывшей работой уранодобывающих производств (Приаргунский горно-химический комбинат в Забайкалье, выведенный из эксплуатации ПО «Алмаз» в г. Лермонтове Ставропольского края), изучено загрязнение всех объектов окружающей среды и оценены дозы облучения населения. Разработанные критерии реабилитации территорий уранового наследия явились основанием переселения жителей пос. Октябрьский Читинской области, а также проведения реабилитационных работ в районах штолен на горах Кавказского хребта – Бештау и Бык.

Продолжается проведение комплексного мониторинга воздействия профессиональных факторов радиационной и нерадиационной природы на состояние здоровья и окружающую среду в районах размещения АЭС, оценивается репродуктивное здоровье мужчин – персонала Калининской, Курской, Смоленской и ряда других атомных станций России.

Выполняя функции регулирования радиационной безопасности населения, за последние годы вышли в свет новые нормативно-методические документы системы санитарно-эпидемиологического надзора и нормирования, актуализированы и разработаны новые методические указания по контролю основных дозообразующих радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{238}U и др.) в объектах окружающей среды и пищевых продуктах.

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

EFFECTS OF IONIZING RADIATION ON BLOOD PARAMETERS OF MEDICAL RADIATION PERSONNELS: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS

Awuah C.¹, Khoury N.², Kyereh K.R.³.

¹Division of Nuclear Fuel Cycle, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Department of Pharmaceutical Sciences, Dr Hilla Liman Technical University, Wa, Ghana

³Department of Chemical Sciences, University of Energy and Natural Resources, Sunyani, Ghana
collins.awuah.stu@uenr.edu.gh

Ionizing radiations have been very useful for many peaceful purposes. Over the years, in the medical space, ionizing radiations have been beneficial for medical diagnostic imaging and treatment of cancers as well as sterilization of medical equipment. After years of research, relevant authorities have laid down appropriate protocols to ensure that ionizing radiations used in medical diagnostics and treatment are safe for the patient, the medical personnel administering the radiation dose, and a third party who may be in the immediate environment where the ionizing radiation is being administered. However, because of the continuous and prolonged pre-exposure of medical radiation personnels to ionizing radiation, we hypothesize that there could be a possible effect of these radiations, even in low doses, on the health of these medical radiation professionals to some extent. One way of determining these medical effects is by assessing the blood parameters in a complete blood count test. For this purpose, six (6) peer reviewed articles published between 2019 and 2022 which studied the complete blood counts of medical radiation staff, in juxtaposition to a control group consisting of medical staff whose work and work area had no association or proximity with radiations and radiotherapy units were systematically reviewed, and a meta-analysis was carried out. Almost all parameters of the study; including: sample size, work experience of staff, whether or not they used lead protection, average absorbed doses, gender distribution and age distribution of the study subjects were similar amongst all the six (6) articles. According to the significant p-values of the various blood parameters, the review and meta-analyses from the articles indicated that some blood parameters of the study group were negatively affected by ionizing radiations. The meta analyses revealed that the probability that a particular blood parameter is affected by prolonged exposure of ionizing radiation is as follows: Red Blood Cells and Hematocrit – 16.67 %, Mean Corpuscular Hemoglobin (and Concentration) – 20 %, Red Blood Cell Distribution Width; Platelets – 40 %, White Blood Cells; Lymphocytes – 33,33 %, Neutrophils – 60 %, Procalcitonin; Platelet Distribution Width – 100 %, Mean Platelete Volume. Only Granules and Hemoglobin had a 0 % probability. This suggests that a prolonged exposure of medical radiation professionals to ionizing radiation, even in low doses, could negatively alter many of the blood parameters and the complete blood count in general, which can possibly pose a threat to their health in the long term.

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ КЛЕТОК ЛЕГКОГО МЫШЕЙ ЛИНИИ C57BL/6

Аксененко О.С., Пилотович А.С., Сусленкова А.Е., Щурова Е.А, Веялкина Н.Н.

Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь
grebczovao@mail.ru

Ионизирующее излучение, являясь весьма полезным инструментом в медицинской терапии и диагностике, вызывает ряд негативных эффектов, как на уровне всего организма, так и на уровне отдельных тканей и клеток. Высокая радиочувствительность тканей легкого ограничивает возможности и положительный эффект лучевой терапии онкологических

заболеваний, при которых легкое попадает в зону облучения. Структура легкого млекопитающего состоит из множества клеточных популяций, различающихся происхождением, морфологией и функциями.

Целью работы была оценка влияния ионизирующего излучения на клетки легкого, распределение популяций клеток гемопоэтического происхождения в легком мыши и собственно клеток легкого.

Оценить уровень радиационно-индуцированных изменений в грудной полости мышей линии C57BL/6 непосредственно после облучения.

Объектом исследований были мыши линии C57BL/6 (самцы, возраст 2,5 месяца). Животных содержали в условиях стационарного вивария Государственного научного учреждения «Институт радиобиологии НАН Беларуси», согласно установленным нормам. Эксперименты выполняли в соответствии с международными рекомендациями «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях». Животных подвергали фракционированному локальному облучению со свинцовым экранированием с помощью рентгеновской облучательной установки X-Rad 320 (PRECISION X-RAY, США) пятью равными фракциями один раз в сутки до достижения общей дозы 5 Гр (1 Гр x 5 раз) и 10 Гр (2 Гр x 5 раз).

Выведение животных из эксперимента проводили на 7-е сутки после последнего облучения на фоне глубокого тиопенталового наркоза. Суспензия клеток легкого была получена согласно методике Chow K.S. et al. (2011). Клеточную суспензию окрашивали антителом FITC CD45/B220 мыши, согласно методике производителя. Анализ проводился на цитофлюориметре Cytomics FC 500 (BeckmanCoulter, США), при длине волны 488 нм.

В полученной суспензии клеток легкого контрольных животных было 82,6 % CD45-отрицательных клеток и 17,2 % CD45-положительных клеток. На дополнительно приготовленных цитологических мазках в большинстве определялись клетки двух морфологических видов: хорошо очерченные с малой площадью цитоплазмы и более крупные с большой площадью цитоплазмы с зернистостью. На 7-е сутки после локального фракционированного облучения в общей дозе 5 Гр отмечено повышение содержания CD45-положительных клеток до 32,1 % и снижение содержания CD45-отрицательных клеток до 66,6 %. После облучения в дозе 10 Гр содержание CD45-положительных клеток возрастало до 48,4 %, а доля CD45-отрицательных клеток составляла 49,1 %.

Фракционированное локальное рентгеновское облучение грудного отдела тела мышей линии C57BL/6 вызывает количественное перераспределение популяций выделяемых клеток легкого, при всех исследуемых дозах наблюдалось увеличение процента CD45-положительных клеток гемопоэтического происхождения. Отмеченные изменения, по всей видимости, обусловлены радиационно-индуцированной гибелью клеток и развитием воспалительного процесса в облученном легком.

СРАВНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ТРИТИЯ В ВИДЕ СВОБОДНОЙ ТРИТИЕВОЙ ВОДЫ И ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ γ -ИЗЛУЧЕНИЕМ

Бондарева Л.Г.

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,
г. Мытищи, Московская обл., Россия
bondarevalg@fferisman.ru

Принципиальная возможность включения трития из тритиевой воды (НТО) в ДНК следует из анализа метаболических путей водорода в организме. Малый пробег β -частиц, испускающихся при распаде ядра атома трития, относительно размера ядер соматических клеток, а также ведущая роль повреждения ДНК, как основной мишени действия радиации на клетку, позволяет предполагать следующее: тритий, включенный в состав генетического материала, является более токсичным, чем равномерно распределенный в водной среде.

Экспериментальными исследованиями на лабораторных мышах установлено, что воздействие НТО при однократном или длительном его введении приводит к большему структурному и функциональному поражению генетического аппарата клеток животных, чем действие адекватного по мощности дозы γ -излучения.

Сравнительное изучение действия трития с внешним γ -излучением во времени («время-эффект») позволяет сопоставить различия в характере повреждения и восстановления на разных уровнях биологической организации при этих видах излучения. Такие данные необходимы для понимания основных механизмов, определяющих большее повреждающее действие трития по сравнению с γ -излучением. Для получения этих данных, животных сравнимой группы облучали на γ -установке (источник излучения ^{137}Cs) с падающей мощностью дозы, имитирующей воздействие НТО.

На наш взгляд, причина большего эффекта трития, в виде НТО, лежит как в радиационной составляющей изотопа, так и в физико-химических особенностях атомов трития.

Установлено, что при действии НТО и γ -излучения выявляются не только количественные, но и качественные различия повреждения биологических мишеней. На молекулярном уровне эффект воздействия НТО, вероятно, определяется способностью клетки к репарации генома и ликвидации повреждений специфических для β -излучения трития. Если эти повреждения, регистрируемые на молекулярном уровне, не будут репарированы, то это вызовет цепь биологических реакций, которые могут иметь фатальное значение для клеток, тканей и организма.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке Отраслевой программы Роспотребнадзора, рег. № 121090800090-4.

СОСТОЯНИЕ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ЖИТЕЛЕЙ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ ОТСЕЛЕНИЯ

Буртовая Е.Ю.

ФГБУН Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
г. Челябинск, Россия
burt@urcrm.ru

В отдаленном периоде после радиационных аварий и инцидентов наблюдается повышенный риск развития лейкозов, онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний у облученных лиц и врожденных пороков и аномалий развития у их потомков. Существенной проблемой в состоянии здоровья аварийно облученных лиц являются психические расстройства и расстройства поведения. Как показывают многочисленные исследования, у пострадавших от бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС, пострадавших в результате аварии на АЭС Фукусима развиваются астенические, тревожные и депрессивные расстройства, когнитивные нарушения, наблюдается рост суицидов и алкогольной зависимости.

Для минимизации отрицательных эффектов радиационного воздействия на здоровье населения предпринимается целый ряд защитных мероприятий. Наиболее радикальным мероприятием является эвакуация населения. При этом переселение само по себе становится дополнительным серьезным стрессовым фактором. Так, последние результаты исследований пострадавших в результате аварии на АЭС Фукусима показали, что психические расстройства у населения были обусловлены не радиационным воздействием, а эвакуацией и изменившимся в соответствии с этим жизненным укладом переселенных лиц (Horikoshi N., 2017; Orui M., 2018; UNSCEAR Report, 2020).

В связи с этим, крайне актуально оценить влияние используемых защитных мероприятий, в частности, переселения на развитие психических расстройств и расстройств поведения в отдаленном периоде после радиационного воздействия.

На примере жителей населенного пункта Муслюмово, подвергшихся радиационному воздействию в результате сброса радиоактивных отходов в реку Теча и участвовавших в программе переселения, проводимой в период с 2006 по 2010 гг., проведена оценка состояния психического здоровья у переселенных и не переселенных лиц. Полученные результаты показали, что в период отселения у пациентов исследуемой группы отмечался рост невротических психических расстройств (расстройство адаптации, неврастения, смешанное тревожное и депрессивное расстройство). Дальнейшее наблюдение показало, что у пациентов старшей возрастной группы (в сравнении с контролем) статистически значимо чаще ($p \leq 0,05$) развивались ларвированные (маскированные) депрессии. Полученные результаты демонстрируют необходимость более тщательного исследования влияния нерадиационных факторов (переселения) на развитие психических расстройств в отдаленном периоде после облучения, что позволит прогнозировать проявления психической дезадаптации у облученного населения в случае потенциального техногенного облучения и в дальнейшем, минимизировать отрицательное воздействие на психическое здоровье населения.

ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЙ ФОН КАК ФАКТОР ХРОМОСОМНОГО МУТАГЕНЕЗА В КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Васильев С.А., Толмачева Е.Н., Саженова Е.А., Суханова Н.Н.,
Яковлева Ю.С., Торхова Н.Б., Лебедев И.Н.

НИИ медицинской генетики Томского НИМЦ РАН, г. Томск, Россия
stanislav.vasilyev@medgenetics.ru

Уровень хромосомных аномалий в соматических клетках организма характеризуется значительной межиндивидуальной изменчивостью, на которую может частично влиять генетический и эпигенетический фон. Эпигенетический ландшафт в клетках в значительной степени определяется метилированием ДНК генома. Ретротранспозон LINE-1 наиболее распространен в геноме человека, а индекс метилирования его промотора является хорошо известным маркером глобального метилирования генома. Несколько исследований показали, что метилирование LINE-1 может снижаться после воздействия различных мутагенов, включая ионизирующее излучение, при этом промоторы отдельных генов в этом случае гиперметируются. Однако неизвестно, пропорциональны ли эти изменения уровня метилирования генома частоте структурных и числовых хромосомных аномалий, которые возникают в соматических клетках человека после мутагенного воздействия. Целью этого исследования являлся анализ взаимосвязи между глобальным метилированием генома и частотой хромосомных аномалий в лимфоцитах работников радиохимического производства.

В лимфоцитах 40 работников Сибирского химического комбината (СХК) мужского пола (Северск, Россия) с инкорпорированным плутонием-239 и 49 условно здоровых мужчин-добровольцев, которые не подвергались профессиональному воздействию ионизирующего излучения, были проанализированы частоты хромосомных aberrаций, микроядер, анеуплоидии по хромосомам 2, 7, 8, 12, X и Y и сестринских хроматидных обменов. Индекс метилирования ретротранспозона LINE-1, занимающего около 21 % генома человека, был оценен как хорошо известный маркер глобального метилирования генома. Анализ анеуплоидии и микроядер проводился с помощью FISH с ДНК-зондами собственного производства.

В группе работников СХК частоты центромерно-негативных микроядер ($4,74 \pm 2,26$ % против $3,02 \pm 1,69$ %), aberrаций хромосомного типа ($0,81 \pm 0,79$ % против $0,44 \pm 0,69$ %) и суммарного нерасхождения по всем проанализированным хромосомам ($0,93 \pm 0,43$ % против $0,50 \pm 0,25$ %) были значительно выше, чем в контрольной группе ($p < 0,05$). Индекс метилирования LINE-1 достоверно не различался между группой работников СХК и контрольной группой ($74,93 \pm 3,63$ % против $73,92 \pm 4,62$ %). В контрольной группе наблюдалась корреляция между метилированием LINE-1 и частотой микроядер ($R = -0,35$;

$p = 0,031$), а в группе работников СХК – корреляция между метилированием LINE-1 и абберациями хроматидного типа ($R = -0,42$, $p = 0,012$) (но не с абберациями хромосомного типа) и сестринскими хроматидными обмeнами ($R = -0,53$, $p = 0,004$).

Таким образом, гипометилирование LINE-1 связано с различными типами хромосомных нарушений в клетках человека в зависимости от характера мутагенного воздействия. Гипометилирование ретротранспозона LINE-1 после воздействия плутония связано, главным образом, с разрывами хроматид.

Исследование было проведено в рамках реализации темы государственного задания № 1022072600037-4.

ДЕЙСТВИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЛИНЕЙНЫЙ РАЗМЕР КОЛОНИЙ ФИТОПАТОГЕНА *Phytophthora spp.*

Васильева Н.А., Полякова И.В., Фролова Н.А., Губина О.В.

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Россия
nellyanat@yandex.ru

В настоящее время, болезни, вызванные фитопатогенной микрофлорой, являются одной из основных причин гибели растений и урожая сельскохозяйственных культур. Например, в годы эпифитотий потери урожая картофеля могут достигать до 50-60 %. Самым эффективным методом снижения уровня заболеваний растений является химический метод с применением фунгицидов. Однако, фунгициды оказывают отрицательный экологический эффект как на окружающую среду, так и могут представлять угрозу здоровью человека. Альтернативным решением этой проблемы может быть применение ионизирующего излучения для обработки посевного материала и урожая. К сожалению, дозы ионизирующего излучения, применяемые для обработки посадочного материала, недостаточны для уничтожения патогенной микрофлоры сельскохозяйственных культур. Оптимальная доза гамма-излучения для обработки посадочного материала картофеля составляет 3,0 Гр, для зерновых культур до 5 Гр. В то время как летальная дозы для вегетирующих клеток бактерий и спор фитопатогенных грибов находятся в пределах до 2-7 кГр, а для спор бактерий и грибного мицелия необходимы дозы порядка 15-50 кГр.

Настоящее исследование предоставляет информацию о радиационном ответе фитопатогена оомицета *Phytophthora spp.* на облучение гамма-излучением. В работе использовали изолят дикого штамма *Phytophthora spp.*, выделенный с поверхности картофеля в Институте картофелеводства им. Лорха. Поверхностное культивирование фитопатогена проводили в чашках Петри на картофельно-сахарозном агаре (КСА) с добавлением лимонной кислоты. С недельных культур оомицета мицелий размером 2x2 мм был инокулирован в центр чашки Петри со средой на КСА. Облучение проводили через 3 ч после пересадки мицелия на установке ГУР-120 (ФГБНУ ВНИИРАЭ). Величины поглощенных доз были следующие: 0 (контроль), 0,5; 1,0; 2,0 и 3,0 кГр. Дозиметрию проводили с помощью универсального дозиметра ДКС-01 с учетом известной мощности дозы. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Табл. 1. Изменение линейного размера колоний *Phytophthora spp.* в зависимости от величины дозы облучения гамма-излучением

Доза, кГр	Сутки													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Размер, мм													
0	2	5	5	7	8	10	11	12	15	19	23	25	28	32
0,5	2	5	5	7	8	10	10	11	14	19	23	25	27	33
1	2	3	3	3	4	7	8	10	12	13	15	20	26	30
2	2	3	3	3	3	4	5	5	9	13	15	19	23	28
3	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	6

Доза 0,5 кГр не оказывает никакого влияния на развитие фитопатогена. Дозы 1,0 и 2,0 кГр действуют на рост *Phytophthora spp.* только в первую неделю культивирования, далее задержка роста незначительна. Дозы 3 кГр недостаточны для уничтожения мицелия *Phytophthora spp.*, но дают задержку в росте на 10 суток почти в 12 раз, на 13 суток примерно в 5 раз.

Известно, что к пораженным фитопфторозом сельскохозяйственным культурам часто присоединяется и бактериальная инфекция. Обработывая продукцию в дозах 3 кГр, мы практически полностью уничтожаем вегетативные бактериальные клетки, тем самым продлеваем сроки хранения сельхозпродуктов.

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В ЗАТО Г. ОЗЕРСК

Денисова Е.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э.

ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики» ФМБА России, г. Озерск, Россия

denisova@subi.su

Первичные опухоли центральной нервной системы (ЦНС) составляют всего около 2 % от всех опухолей человека, но они достаточно часто встречаются у детей и взрослых в трудоспособном возрасте. Радиационное воздействие является признанным фактором увеличения частоты заболеваемости этой нозологией. Поэтому исследование показателей заболеваемости опухолями ЦНС среди населения, подвергающегося техногенному облучению, является важным этапом установления количественных оценок связи показателей с радиационным фактором.

Целью работы было дать характеристику структуры первичных злокачественных новообразований (ЗНО) ЦНС у населения г. Озерск, проживающего вблизи первого в России предприятия атомной промышленности ПО «Маяк» за период 1948-2017 гг., и провести сравнительный анализ показателей заболеваемости с мировыми, общенациональными и региональными данными.

В ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики» ФМБА России создан и поддерживается канцер-регистр, включающий случаи ЗНО, диагностированные у лиц, проживавших в ЗАТО г. Озерске с 1948 г. по настоящее время. Такой уникально длительный период наблюдения позволяет использовать данные канцер-регистра для эпидемиологических исследований. Все случаи закодированы согласно Международной классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем (МКБ-10) и Международной классификации онкологических заболеваний, 3-е издание (МКБ-О-3).

За период с 1948 по 2017 гг. была собрана информация о 220 случаях первичных ЗНО ЦНС. В структуре заболеваний вклад опухолей головного мозга уменьшался, составляя 100 % в 1948-1959 гг. и 78 % в 2000-х гг., а доля ЗНО оболочек головного и спинного мозга увеличивалась с 7 % в 1960-1990 гг. до 20 % в 2000-х гг. Доля ЗНО головного мозга, выходящих за пределы одной и более локализаций, уменьшалась, составляя в 1960-1979 гг. 38 %, в 1980-1999 гг. 30 %, в период 2000-2017 гг. 13 %, в среднем 24 %. Наиболее часто опухоль располагалась в височной доле (13 %). Гистологическое подтверждение было получено в 182 случаях (83 %). Опухоли нейроэпителиальных тканей преобладали во все периоды.

Среди мужчин в период 1980-1999 гг. стандартизованный на основе данных СССР показатель составил 6,2 случая на 10^5 чел.-лет; для женщин – 5,0 случая на 10^5 чел.-лет. Оценка стандартизованного отношения показала превышение заболеваемости в г. Озерске по сравнению с национальными данными как для мужчин на 90 %, так и женщин на 100 % (мужчины: СОР = 1,9; 95 % ДИ: 1,3-2,5; женщины: 2,0; 95 % ДИ: 1,4-2,7).

В период 2000-2017 гг. у мужчин заболеваемость не отличалась от национальных (СОР = 1,2; 95 % ДИ: 0,9-1,6) и региональных значений (СОР = 1,2; 95 % ДИ: 0,9-1,5). По сравнению с областным центром (г. Челябинск) частота ЗНО ЦНС у женщин была ниже на 30 % (СОР = 0,7;

95 % ДИ: 0,5-0,9). Статистически значимых отличий от показателей заболеваемости в Российской Федерации не найдено (COP = 0,8; 95 % ДИ: 0,6-1,1).

Представлена структура и частота заболеваемости ЗНО ЦНС в г. Озерске. Получено статистически значимое превышение заболеваемости ЗНО ЦНС по сравнению с национальными данными (для мужчин на 90 %, для женщин на 100 %) за период 1980-1999 гг. В 2000-2017 гг. заболеваемость у мужчин соответствует национальным и региональным показателям. У женщин частота ЗНО ЦНС не отличается от национальных значений и ниже, чем в г. Челябинске.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Думанский С.М., Васильев Е.В., Калинина М.В., Бирюков А.П.
ФГБУ ГНЦ им. А.И. Бурназяна, ФМБА России, г. Москва, Россия
s.dumaysky.m@gmail.com

Существует достаточно много разработанных интеллектуальных алгоритмов для анализа имеющейся информации с целью выявления скрытых закономерностей в больших объемах данных. В частности, можно указать наиболее используемые: OLAP-кубы, поиск ассоциаций, поиск последовательностей, кластерный анализ, дерево решений. Имеющееся в настоящее время у исследователей программное обеспечение «SQL Server Analysis Services», «1С: Предприятие 8» позволяет эффективно применять указанные выше алгоритмы для анализа данных и прогнозирования поведения физических процессов (влияние ионизирующего излучения на человека).

В медицинских структурах ФМБА России регулярно и по мере необходимости проводятся медицинские осмотры (диспансеризация) сотрудников подведомственных организаций. Данные (симптомы, синдромы, заболевания) по итогам которых, заносятся в электронные медицинские карты. Информацию из них можно рассматривать (структурировать) как транзакции для обработки данных и применения интеллектуальных алгоритмов для анализа и прогноза. На имеющихся в распоряжении ФМБЦ им. А.И. Бурназяна базах данных нами использовались две модели исследования влияния малых доз ионизирующего излучения на человека: OLAP-кубы и алгоритм ассоциации.

OLAP-куб структурно состоит из измерений и групп мер. В роли измерений принимаются пол, возраст, дата обследования, накопленная доза, справочник болезней (МКБ-10), справочник профессий и др. В качестве групп мер выступают число зафиксированных заболеваний, числовые значения накопленных доз и др. В разрезе измерений можно подсчитывать числовые значения выбранной группы мер и визуализировать в форме таблицы или графического изображения в среде Excel. В частности, можно исследовать распространенность конкретного заболевания в разрезе возрастных групп и дозовых нагрузок. Полученные данные показали, что наблюдается увеличение распространенности злокачественных новообразований желудка при возрастании дозовой нагрузки внутри возрастных групп. Аналогичные зависимости были найдены для злокачественных новообразований гортани, других органов дыхания, предстательной железы и иных заболеваний. Ассоциативный алгоритм нами применялся для определения коморбидности (сочетанности) заболеваний.

**ПОСЛЕДСТВИЯ ОТЦОВСКОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ:
ПОКАЗАТЕЛИ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ
СРЕДИ ПОТОМКОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Кабилова Н.Р., Окатенко П.В., Сокольников М.Э.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
kabirova@subi.su

Изучение роли отцовского облучения до зачатия в развитии злокачественных новообразований (ЗНО) у потомков первого поколения является актуальным аспектом поиска канцерогенных факторов и поможет пополнить научное понимание о радиационных генетических эффектах у человека.

Проведено исследование по изучению последствий прекоцептивного облучения мужчин в результате профессиональной деятельности на производственном объединении «Маяк» на показатели онкологической заболеваемости среди их потомков первого поколения.

Ретроспективный эпидемиологический анализ проведен в когорте потомков 1949-2002 годов рождения, включающей 14 435 человек. Отцы 11 785 потомков имели накопленную прекоцептивную дозу внешнего облучения гамма-излучением на гонады (основная группа), 2 650 человек отнесены к внутреннему контролю, как потомки родителей, не подвергшихся облучению репродуктивных органов. Жизненный статус и онкологическая заболеваемость потомков прослежены до 31.12.2021. Проведен анализ структуры и показателей онкозаболеваемости. Расчет относительного риска заболеваемости (СОЗ) и избыточного относительного риска (ИОР) на единицу дозы внешнего облучения с 95 % доверительным интервалом проведены с использованием модуля AMFIT программного обеспечения EPICURE.

В изучаемой когорте было диагностировано 482 случая заболевания злокачественными новообразованиями за период наблюдения 1949-2020 гг. Сравнительный анализ онкозаболеваемости не показал существенных различий в структуре злокачественных новообразований в когортах. Анализ показателей стандартизованного относительного риска онкозаболеваемости по отдельным наиболее значимым локализациям у потомков мужского пола выявил достоверное превышение относительного риска опухолей органов пищеварения и брюшины (1,61, ДИ: 1,20-2,13), обусловленное достоверным превышением СОЗ в дозовых интервалах 55,0-150,0 мЗв (2,57, ДИ: 1,40-4,32) и 150,0-450,0 мЗв (2,16, ДИ: 1,23-3,49).

Установлено достоверное превышение относительного риска ЗНО лимфатической и кроветворной тканей среди потомков мужского пола в 1,56 раза. Среди потомков женского пола было найдено достоверное превышение показателя СОЗ опухолей органов дыхания и грудной клетки в группе с дозой на гонады 17,4-55,0 мЗв. Помимо этого, зафиксировано достоверное превышение СОЗ опухолей мочеполовых органов в дозовом интервале менее 17,4 мЗв и опухолей головного мозга при дозах прекоцептивного облучения 55,0-150,0 мЗв. При расчете избыточного относительного риска заболеваемости злокачественными новообразованиями среди потомков, как мужского пола, так и женского пола для всех ЗНО по сумме наблюдений и для солидных раков по дозовым интервалам достоверного превышения не выявлено.

Значимых доказательств связи риска возникновения ЗНО у потомков работников производственного объединения «Маяк» с накопленной прекоцептивной дозой внешнего облучения гамма-излучением на гонады не получено, необходимо продолжить исследования на основе уникальной когорты потомков отцов, подвергшихся профессиональному облучению.

ТЕОРИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Калиниченко С.А.

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», г. Хойники, Беларусь
s-a-k@list.ru

К настоящему времени существуют различные теории, пытающиеся объяснить природу воздействия ионизирующего излучения на ткани живых организмов, и тем самым разработать механизмы защиты в случае вынужденной необходимости длительного пребывания объекта в зоне радиоактивного загрязнения. Однако ни одна из этих теорий не способствует выработке действенных приемов радиационной защиты. В данной же работе предлагается фундаментальная теория динамической уязвимости организмов, способная в случае ее дальнейшего развития и тщательной проработки создать абсолютно новую систему радиационной защиты. В основу данной теории положен принцип максимальной защиты генетического материала клетки на стадии его синтеза. Общеизвестно, что наиболее радиочувствительными являются делящиеся молодые метаболически-активные клетки организма. Они же являются источником и причиной большинства нарушений, приводящих в дальнейшем к детерминированным или стохастическим эффектам. При воздействии на взрослые неделящиеся клетки или молодые законсервированные, эти эффекты минимизируются, вплоть до абсолютной радиорезистентности. Для этого необходима разработка действующих механизмов управления генетическим синтезом, способных как полностью его останавливать, так и возобновлять работу в благоприятных условиях. Основная задача при этом сводится к тому, чтобы не допустить к воспроизводству поврежденный генетический материал. На современном этапе развития науки исследователям уже известны некоторые способы предшествующего блокирования пластического обмена в клетках растений и животных. Применение их в рамках данной теории позволит иначе взглянуть как на использование ионизирующего излучения, так и в целом на существование и распространение живых организмов.

Возможно существование нескольких механизмов блокирования, учитывая всех участников синтеза: ферменты синтеза ДНК, транспортные белки и структурные соединения, необходимые для синтеза ДНК (например, азотистые основания). При этом необходимо учитывать источник ионизирующего излучения, его мощность, стадию клеточного цикла и др. Воздействие ионизирующего излучения на органеллы и аппараты клетки не играет при этом значимой роли, если они полностью не выведены из строя и способны выполнять свои функции по обеспечению жизнедеятельности клетки. Так, например, гибель некоторых митохондрий, или даже нарушения в работе митохондриального синтеза совсем не обязательно должно оказать влияние на качество генетического материала. Механизмы временного блокирования синтеза, по всей видимости, это ключ не только к защите организма от ионизирующего излучения, но и каких-либо других возможных воздействий, способных нарушить правильную работу систем организма и его отдельных органов.

АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ В ОЦЕНКЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ МЫШЕЙ ПОСЛЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ *IN VIVO*

Коваль А.Н.¹, Никитина И.А.¹, Скрыпникова Л.П.¹, Веялкина Н.Н.², Шафорост А.С.¹

¹Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

²Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь

akovalj@yandex.by

Ионизирующие излучения применяются в медицине для диагностических целей, а также в лучевой терапии. Для оценки изменений, вызванных облучением, применяются разнообразные методы на клеточном и субклеточном уровнях. При изучении изменений в мембранах, удобной моделью являются эритроциты, обладающие рядом морфологических и биохимических особенностей: отсутствие ядра и митохондрий, наличие шунта Люберина-Раппопорта, необходимого для синтеза 2,3-дифосфоглицерата, мощная антиоксидантная защита.

Целью исследования была оценка влияния возможных биохимических изменений на степень проявления изменений мембран эритроцитов мышечной ткани, облученных на рентгеновской установке.

Эксперименты проведены на лабораторных мышках линии С57В1/6 (самцы, возраст 2,5-3 месяца). Животных содержали в условиях стационарного вивария Государственного научного учреждения «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», согласно установленным нормам.

Были выделены следующие экспериментальные группы животных: 1-я группа – контроль; 2-я группа – однократное общее облучение в дозе 3 Гр. Животных подвергали общему облучению с помощью рентгеновского аппарата X-Rad 320 (мощность дозы 98,8 сГр/мин).

По окончании эксперимента животных декапитировали, отбирали 0,1 мл крови и готовили мазки крови по стандартной методике. Атомную силовую микроскопию (АСМ) проводили на микроскопе НТ-206 («МикроТестМашины», Беларусь) в режиме топографии. Полученные данные анализировали и визуализировали с помощью программы SurfaceExplorer (v. 1.3).

Несмотря на видимые различия топографических изображений и визуализации шероховатости поверхности эритроцитов, полученные с помощью АСМ для животных двух групп, показатели шероховатости R_a и R_q остаются практически идентичными. При этом значительно изменяются параметры, характеризующие асимметричность (R_{sk} , при 167 в контроле до 0,77 в опыте) и уплощенность поверхности (R_{ku} , 8,47 в контрольной группе и 6,99 после облучения), а также расчетное значение силы трения (F_f , увеличение на 16 % по сравнению с контролем), которые свидетельствуют об изменениях физико-химических свойств мембран эритроцитов.

Обнаруживаемые морфологические изменения мембраны эритроцитов после рентгеновского облучения предположительно могут объясняться как повреждением липидного слоя мембран и нарушением строения цитоскелета, так и агрегацией частично денатурированных белков вследствие нарушения системы протеостаза в условиях нарушенного энергообразования. Понимание механизмов биохимической модуляции метаболизма является перспективным как для поиска новых радиопротекторов, так и усилителей повреждающего действия ионизирующей радиации.

ВЛИЯНИЕ НА ОРИЕНТИРОВОЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ РЕАКЦИЮ КРЫС ОДНОКРАТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВЫ ПРОТОНАМИ ИЛИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Колганова О.И.*, Белкина С.В., Панфилова В.В., Чибисова О.Ф.,
Чибисова А.С., Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Корякин С.Н.
Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба –
филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия
o.kolgan.obn@mail.ru

В настоящее время при радиотерапии опухолей головы и шеи все большее внимание уделяется протонному излучению как наиболее эффективному и безопасному для пациентов. Однако до сих пор существует недостаток научных данных, которые позволили бы объективно подтвердить преимущества протонного излучения по сравнению с другими видами излучений в плане влияния на когнитивные функции мозга (КФМ).

Цель работы: анализировать в опытах на животных облучение протонами и электронами при относительно равномерном распределении энергии по объему головного мозга и определить, какой из видов облучения оказывает более выраженное негативное воздействие на КФМ.

Работа выполнена на трехмесячных самцах крыс Вистар. КФМ крыс оценивали по ориентировочно-исследовательской реакции (ОИР) в тесте «открытое поле» (ОП). ОП представляло собой квадратный манеж размером 1x1 м, разделенный на 16 квадратов, 4 квадрата в центре – «центральная зона», и 12 квадратов вдоль стенок манежа – «периферия». В начале опыта крысу помещали в центр манежа. Регистрировали следующие показатели: время выхода из центральной зоны, количество вставаний, груминг, дефекации, число пересечений квадратов в центральной зоне и по периферии, количество заходов в углы. Показатели фиксировали отдельно в первую и во вторую пятиминутки опыта. Предварительно, до воздействия, по результатам тестирования, были сформированы равноценные по показателям группы крыс, по 16 особей в каждой: группа № 1 – «контроль», группа № 2 – «протоны» и группа № 3 – «электроны». Протонами голову животных облучали на комплексе протонной терапии «Прометеус» (Россия, Обнинск, МРНЦ). Условия облучения: доза 6 Гр, энергия 150 МэВ, равномерность поля охватывала площадь 5x5 см. Для облучения головы крыс электронами использовали импульсный мобильный ускоритель электронов «Novak-11». Условия облучения: доза 6 Гр, энергия 10 МэВ, частота импульсации 1 Гц. В обоих случаях во время облучения крысы были фиксированы в специальном приспособлении для локального облучения головного мозга. Контрольные крысы подвергались таким же манипуляциям, как и опытные, но при выключенном источнике.

Крыс тестировали через 1 сут, через 8 сут и через 40 сут после облучения. В первую пятиминутку опыта во все сроки наблюдения существенных различий между группами животных выявлено не было. Во вторую пятиминутку опыта у крыс группы № 2 через 1 сут после воздействия снизилось количество заходов в углы и число пересечений квадратов по периферии, составляя 46 и 42 % от активности контроля соответственно. У крыс группы № 3 через 1 сут после воздействия ситуация выглядела более драматично: снизилась активность практически по всем показателям по сравнению с контролем, причем снижение активности было более глубоким, чем у группы № 2 «протоны». Однако такое снижение ОИР крыс носило непродолжительный характер: уже через 8 сут после воздействия различий между контрольной и опытными группами не наблюдалось. Через 40 сут после воздействия ОИР крыс опытных групп не отличалась от таковой у животных контрольной группы.

В результате работы было выявлено следующее. Во-первых, у взрослых животных достаточно быстро восстанавливаются возможные нейрокогнитивные нарушения, связанные непосредственно с облучением. Во-вторых, облучение протонами оказывало более «щадящее» воздействие на головной мозг, чем облучение электронами. В нашей работе мы использовали облучение «на простреле», когда облучению подвергался весь мозг; можно полагать, что в случае использования пика Брэгга, когда основная доза будет приходиться на область опухоли, негативный эффект протонов будет еще менее выражен.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КЛЕТКАХ КИТАЙСКОГО ХОМЯЧКА ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОГО И СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА

Корякина Е.В., Трошина М.В., Потетня В.И., Байкузина Р.М.,
Лычагин А.А., Соловьев А.Н., Сабуров В.О., Корякин С.Н.
Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба –
филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия
ek-koryakina@mrrc.obninsk.ru

В настоящей работе исследованы закономерности восстановления нормальных и опухолевых клеток китайского хомячка от радиационных повреждений, индуцированных однократным, фракционированным и сочетанным воздействием редко- и плотноионизирующих излучений: фотонного, протонного, нейтронного и ионного.

Исследования выполнены на двух линиях клеток китайского хомячка, V-79 (фибробласты) и В14-150 (клетки фибросаркомы), полученных в банке клеточных культур Института цитологии РАН. Культивирование клеток проводили по стандартной методике, в экспериментах использовали клетки, достигшие стационарной стадии роста культуры. Флаконы с конфлюэнтным монослоем заполняли раствором Хенкса полностью (протоны, ионы углерода, тяжелые заряженные частицы) или в количестве, необходимом для создания условий равновесия вторичного излучения (фотоны, нейтроны). После облучений до посева или следующих облучений клетки выдерживали в течение 0, 0,5, 1, 2, 4, 6, 8 ч, затем высевали в свежую питательную среду и инкубировали 8-10 суток до формирования макроколоний.

Облучение биологических объектов проводили на следующих источниках: протоны – синхротрон «Прометеус» комплекса протонной терапии (МРНЦ им. А.Ф. Цыба, г. Обнинск; разработчик – АО «Протом»); ионы углерода – ускоритель У-70 (ИФВЭ им. А.А. Логунова, г. Протвино); нейтроны – нейтронный генератор НГ-14 (МРНЦ им. А.Ф. Цыба, г. Обнинск; разработчик – ВНИИА им. Н.Л. Духова), фотоны – гамма-установка с источником ^{60}Co (МРНЦ им. А.Ф. Цыба, г. Обнинск). Для получения тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) использовали уникальную методику облучения монослоя клеток нейтронами с энергией 14,5 МэВ в условиях отсутствия равновесия вторичных заряженных частиц (через слой стекла толщиной 1 мм). В этом случае основной вклад в дозу делают тяжелые короткопробежные ядра отдачи С, N, O, Ne, обладающие характеристиками, сходными с ускоренными ионами в пике Брэгга.

В результате исследований было установлено, что при однократном действии фотонного, протонного и нейтронного излучений проявляются сходные закономерности пострадиационного восстановления повреждений: период полувосстановления около 1 ч, полностью процессы восстановления завершались к 4 ч после облучения. При действии ТЗЧ, индуцированных нейтронами, и ионов углерода в немодифицированном пике Брэгга восстановление клеток от индуцированных повреждений не проявлялось.

При делении дозы излучения на две равные фракции закономерности восстановления были аналогичны закономерностям после однократного воздействия: для фотонов и протонов период полувосстановления составлял около 1,5 ч, полностью восстановление завершалось к 4-5 ч перед облучением второй фракцией дозы. В случае облучения ионами и ТЗЧ межфракционное восстановление также не наблюдалось.

При сочетанном облучении клеток фотонами и ТЗЧ, а также протонами и ТЗЧ пострадиационное восстановление наблюдалось только в схемах, где первыми воздействовали редкоионизирующие излучения, и его закономерности повторяли полученные ранее для одно- и двукратного облучения. С точки зрения повреждающего действия на опухолевые клетки наиболее эффективными являлись обратные последовательности сочетанного воздействия: первая фракция тяжелыми заряженными частицами, вторая – протонами. При этом на величину эффекта влиял вклад каждого вида излучения в суммарную «биологическую» дозу.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 075-15-2021-1347.

ТРЕХЦВЕТНЫЙ FISH-МЕТОД: ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КУЛЬТУР ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ СПУСТЯ 25-35 ЛЕТ ПОСЛЕ АВАРИЙНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Ломоносова Е.Е.¹, Нугис В.Ю.¹, Астрелина Т.А.¹, Козлова М.Г.¹,
Никитина В.А.¹, Галстян И.А.¹, Снигирева Г.П.²

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко
Минздрава России, г. Москва, Россия
mrs.lomonosova@gmail.com, nugisvju@list.ru

В настоящей работе представлены результаты цитогенетического анализа с помощью трехцветного FISH-метода культур лимфоцитов крови одного пациента через 24,8-34,4 года после облучения при аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.). Постановку в стерильных условиях культур лимфоцитов крови и приготовление препаратов хромосом производили по методикам, принятым в лаборатории и в целом соответствующим опубликованным в международных рекомендациях. Для выполнения FISH-окрашивания хромосом использовали различные готовые наборы цельнохромосомных ДНК-зондов фирмы MetaSystems (Германия): одноцветные для 1, 4 и 12 пар хромосом (1 раз), трехцветные для 1, 4 и 12 пар хромосом (5 раз), параллельно два набора трехцветных ДНК-зондов к 1, 4, 12 и 2, 3, 8 парам хромосом (5 раз).

Основную массу наблюдаемых aberrаций хромосом составляли относящиеся к стабильному типу реципрокные транслокации в количестве от 90,4 до 98,4 % от общего числа всех зарегистрированных FISH-окрашенных перестроек. Доля нестабильных aberrаций хромосом колебалась от 0 до 7,6 %. Частота транслокаций в геном-эквивалентных клетках была в 42-67 раз выше, чем для соответствующего литературного возрастного контроля ($p < 0,01$). В ходе цитогенетического анализа были обнаружены два лимфоцитарных клона с транслокациями $t(4;8)$ и $t(1;3)$. В дальнейшем расчеты суммарных частот транслокаций были выполнены без коррекции и с коррекцией на этот феномен. Для осуществления такой коррекции каждый клон представляли в виде одной клетки с соответствующим уменьшением общего числа транслокаций и количества просмотренных клеток. Вид набора ДНК-зондов не влиял на величину выявленных частот транслокаций при анализе как всех, так и только стабильных клеток без и с коррекцией на наличие клонов. Частоты наблюдаемых транслокаций во всех и стабильных клетках без и с той же коррекцией также существенно не отличались друг от друга. Линейный регрессионный анализ был использован для изучения зависимости частоты транслокаций от времени после облучения в рамках указанного диапазона. Для осуществления этой цели были привлечены результаты, полученные с помощью ДНК-зондов к 1, 4 и 12 парам хромосом после пересчета на число геном-эквивалентных клеток. Статистически значимая зависимость уровня транслокаций от срока взятия крови в период от 24,8 до 34,4 лет после облучения пациента отсутствовала. Соответствующие коэффициенты корреляции составили 0,388 и 0,417 при уровнях значимости $p = 0,239$ и $0,231$ для данных без и с коррекцией на наличие клоновых транслокаций. Для ретроспективной оценки дозы были использованы полученные ранее кривые «доза-эффект» для радиационно-индуцированных транслокаций в культурах лимфоцитов крови после облучения гамма-излучением крови здоровых доноров *in vitro* в дозах от 0,1 до 3,0 Гр. В среднем за все время наблюдения оценки дозы при анализе всех и только стабильных клеток составили $2,16 \pm 0,04$ и $2,34 \pm 0,04$ Гр. Эти значения статистически значимо расходились из-за исходного различия соответствующих дозовых зависимостей, но с точки зрения биологического эффекта этот факт неважен. Поэтому дискуссия о том, какие клетки включать в анализ, оказывается не имеющей практического значения. Таким образом, в отдаленные сроки после облучения в диапазоне «больших» доз частоты транслокаций выходят на некоторый постоянный уровень после первоначального снижения, что требует повышающей коррекции ретроспективной цитогенетической оценки.

К ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСА О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА НАЛИЧИЯ МЕТАЛЛА НА БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ В УСЛОВИЯХ ПРОЦЕДУРЫ ОБЛУЧЕНИЯ СВЧ ЭМП

Лукьянова С.Н., Фомина Т.В., Веселовский И.А.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

tv.fomina@fmbcfmba.ru

В современной практике физиотерапии активно применяются электромагнитные поля для лечения широкого круга заболеваний. В результате применения физиотерапевтических методов, неоднократно описаны положительные эффекты в виде: купирования воспаления и болевого синдрома, уменьшения отека, нормализации физиологических процессов. Неоднократно подчеркиваются и противопоказания, среди которых: индивидуальная непереносимость, длительный профессиональный контакт с данным видом энергии, наличие кардиостимулятора и других имплантированных металлоконструкций.

Необходимость учета данных положений статистически значимо обосновывают и наши работы. Ранее описанные результаты экспериментов на животных и исследования с участием добровольцев показали зависимость эффекта постоянного магнитного поля (ПМП) и электромагнитного поля (ЭМП) от фоновых значений и индивидуальных свойств биологических объектов, а также возможность их кумуляции при повторных экспозициях. Настоящая работа дополняет эти данные, обосновывая возможность отрицательного влияния на состояние организма воздействия сверхвысокочастотным (СВЧ) ЭМП при наличии металла в контакте с тканями организма.

В экспериментах на 70 кроликах в сериях с различными комбинациями металлических (нихром) и неметаллических (хлорвиниловые трубки, заполненные физиологическим раствором на основе агар-агара) электродов и проводов для регистрации электроэнцефалографии (ЭЭГ) изучали влияние ЭМП (10 ГГц, ППЭ 200 мкВт/см², непрерывный или импульсный режим).

В сериях с неметаллическими электродами и проводами, как и в серии с неметаллическими электродами, но металлическими проводами основная форма реакции сводится к усилению только альфа-диапазона ЭЭГ, и повторы 5 мин облучений не приводили к кумуляции эффектов. Иная картина наблюдалась в серии с металлическими электродами и проводами, особенно при импульсном режиме. Четко заметна и кумуляция эффектов – переход усиления альфа-активности к повышению индекса тэта-диапазона в спектре ЭЭГ и к судорожным проявлениям. Последние отмечали с 3-6-го 5-мин облучения у 60-80 % кроликов, что отличало эту серию от двух предыдущих ($p < 0,05$). Важно отметить, что у животных после этого воздействия имела место длительно сохраняющаяся релаксация.

Представленный материал является экспериментальным обоснованием возможности развития биоэффектов тока микрополяризации при облучении ЭМП нетепловой интенсивности в случае наличия контакта металла с тканями организма. Особую опасность может представлять увеличение количества таких контактов, что, несомненно, требует осторожного отношения к соответствующей ситуации.

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ПНЕВМОСКЛЕРОЗА КАК СЛЕДСТВИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛУТОНИЯ С ОЦЕНКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НУКЛИДА В МОЧЕ, КАЛЕ И ПО ДАННЫМ БИОФИЗИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУПА

Метляева Н.А., Бушманов А.Ю., Галстян И.А., Щербатых О.В.,
Кончаловский М.В., Торубаров Ф.С., Кореньков В.В., Юнанов Д.С.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
fmbc@fmbamail.ru

Цель исследования является описание клинико-дозиметрических закономерностей развития токсического пневмосклероза, обусловленного ингаляционным поступлением аэрозолей плутония у пациента, работавшего на ПО «Маяк» с 1948 по 1954 г.

Пациент Ш., женщина, 1924 года рождения, образование высшее, в возрасте 24 лет начала работать инженер-химиком на ПО «Маяк» в условиях воздействия повышенной профессиональной вредности ионизирующей радиации (воздействие гамма-лучей и попадание ингаляционно аэрозолей плутония). За время работы получила суммарную дозу внешнего гамма-облучения 3,8924 Гр: (1950 г. – 0,8357 Гр; 1951 г. – 1,8729 Гр; 1952 г. – 0,7024 Гр; 1953 г. – 0,4814 Гр). Подтверждено носительство плутония.

Результаты и обследования: дано клиническое описание токсического пневмосклероза тяжелой степени с прогрессирующим течением заболевания, обусловленного поступлением, в основном, транспортабельных аэрозолей плутония на фоне сочетанного воздействия внешнего относительно равномерного гамма-излучения. Установлено и подтверждено носительство плутония, выведение его из организма. С диагностической и лечебной целью больной произведены ингаляции пентацином в 2 этапа в течение 3 дней. Выделение плутония-239 увеличилось в моче максимально до 940 ед/мин. – 1 150 ед/ мин. (04.06.1957 – 06.06.1957) и 464 ед/мин. (14.06.1957), в кале – 308 ед/мин. – 252 ед/мин. (07.06.1957 – 11.06.1957) и 236 ед/мин. (18.06.1957). Оценка количества и альфа-активности накопленного плутония в легких, печени, костях и других органах проведена по данным биофизического исследования органов трупа пациента Ш.

Клиническую картину заболевания определял токсический плутониевый пневмосклероз тяжелой степени прогрессирующего течения как последствие хронического воздействия плутония. Гипоксия (гипоксемическая и тканевая). Легочное сердце. Очаговая пневмония. Нарушение сосудодвигательного и дыхательного центров. Умеренное угнетение кроветворения и астенический синдром как последствие хронической лучевой болезни II степени. Заболевание прогрессировало с поражением основных критических органов (легкие, печень, кости). Смерть пациента наступила от сердечной недостаточности, развившейся вследствие пневмосклероза при явлениях асфиксии.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОКИНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В ПАТОГЕНЕЗ АТЕРОСКЛЕРОЗА, У РАБОТНИКОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ХРОНИЧЕСКОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

Ослина Д.С., Рыбкина В.Л., Адамова Г.В., Азизова Т.В.
ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) занимают первое место в структуре смертности во всем мире. Многочисленные исследования продемонстрировали, что в когортах лиц, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения, риск ССЗ повышен по сравнению с лицами, не имевшими контакта с ионизирующим излучением. Атеросклеротическое поражение сосудов является, как правило, основной причиной развития ССЗ и сопровождается выраженным хроническим воспалением. Регуляцию воспаления в атеросклеротической бляшке осуществляют разнообразные сигнальные молекулы, в частности,

цитокины. Известно, что хроническое облучение оказывает модифицирующее влияние на состояние иммунитета, однако сведения о роли цитокинов в развитии атеросклероза у работников, подвергшихся хроническому облучению, ограничены.

Целью исследования было изучение влияния ионизирующего излучения на некоторые цитокины, играющие роль в патогенезе атеросклероза.

Для исследования было сформировано 2 группы. Основную группу составили 46 работников ПО «Маяк» – 31 мужчина и 15 женщин (средний возраст \pm стандартное отклонение – $68,6 \pm 6,8$ лет). В контрольную группу включены 23 мужчины и 10 женщин, никогда не подвергавшиеся профессиональному облучению ($68,9 \pm 6,4$ лет). Средняя суммарная поглощенная в печени доза внутреннего альфа-излучения в группе работников ПО «Маяк» составила $0,118 \pm 0,12$ Гр; средняя суммарная поглощенная в печени доза внешнего гамма-излучения была $0,185 \pm 0,12$ Гр. Статистически значимых различий в частоте заболеваний, обусловленных атеросклерозом коронарных, церебральных и периферических артерий, при сравнении основной группы с контрольной не выявлено. У всех участников исследования определяли концентрацию IL-6, MCP-1, IFN γ в сыворотке крови методом твердофазного иммуноферментного анализа. Образцы сыворотки крови для исследования были получены из Радиобиологического репозитория тканей человека (РРТЧ ФГБУН ЮУрИБФ, г. Озерск). Все образцы хранились до исследования в низкотемпературных морозильниках при температуре -80 °С. Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета программ Statistica 10. Достоверность различий оценивали по критерию Манна – Уитни.

Не выявлено статистически значимых отличий в концентрации IL-6 и IFN γ . Концентрация MCP-1 была статистически значимо выше в основной группе при сравнении с контрольной группой (медиана (Q1 и Q3) – 452,25 (345; 525) пг/мл и 341 (286; 415) пг/мл соответственно; $p = 0,0069$), а также в сыворотке крови лиц основной группы с заболеваниями, обусловленными атеросклерозом при сравнении с контрольной группой (454,5 (345; 525) пг/мл и 353,25 (286; 415) пг/мл соответственно; $p = 0,025$), что хорошо согласуется с данными литературы. Известно, что повышение концентрации провоспалительных цитокинов в крови, к которым относится MCP-1, указывает на высокий риск прогрессирования атеросклеротического процесса.

Таким образом, повышенная концентрация MCP-1 как в основной группе в целом, так и у работников с заболеваниями, обусловленными атеросклерозом, при сравнении с контрольной группой, может свидетельствовать о более выраженном сосудистом воспалении у работников, подвергшихся хроническому профессиональному облучению.

УСЛОВНО-РЕФЛЕКТОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КРЫС ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОГО ТРАНСКРАНИАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРОТОНАМИ

Панфилова В.В., Колганова О.И., Белкина С.В., Чибисова О.Ф.,

Бурак М.Ю., Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Корякин С.Н.

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба –
филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия
whiskas04@yandex.ru

В настоящее время во всем мире выросла встречаемость доброкачественных и злокачественных опухолей головы и шеи. Протонная лучевая терапия является наиболее эффективным методом борьбы с этими новообразованиями. Однако важной проблемой остается вопрос, насколько пациенты после лечения будут способны вернуться к своей профессиональной деятельности, особенно связанной с умственным трудом. В модельных экспериментах на половозрелых крысах обоего пола (всего 75 животных), мы оценивали способность крыс к обучению по тесту выработки условного рефлекса активного избегания (УРАИ) в челночной камере.

Программа обучения крыс состояла из 50 сочетаний условного и безусловного раздражителей при следующей последовательности сигналов: свет + звук – 4 с; болевое

электрическое раздражение – с 4 по 12 с; пауза между циклами – 20 с. Латентное время перебежки фиксировали с точностью до 0,1 с. В процессе выработки УРАИ регистрировали: среднее по группе количество попыток до появления первой реакции избегания (РИ) в ответ на условный стимул – лаг-фаза обучения, среднее количество РИ за сессию, количество перебежек в другой отсек камеры в ответ на удар током, количество отказов от перебежки даже при электрокожном подкреплении. По уравнениям регрессии нарастания РИ в процессе тестирования определяли скорость обучения (по коэффициенту В). Также оценивали состояние кратковременной памяти (появление серий из не менее пяти РИ подряд в течение сессии обучения) и долговременной памяти – по коэффициенту А уравнений регрессии при последующих тестированиях.

Предварительно, до облучения, по результатам тестирования были сформированы равноценные по показателям контрольные и опытные группы крыс.

Протонами голову животных облучали на комплексе протонной терапии «Прометеус» (Россия, Обнинск, МРНЦ). Условия облучения: энергия 150 МэВ, равномерность поля охватывала площадь 5x5 см, самки получили дозу 3 Гр, самцы – 6 Гр. Во время облучения крысы были фиксированы в специальном приспособлении для локального облучения головного мозга. Контрольные крысы подвергались таким же манипуляциям, как и опытные, но при выключенном источнике.

Крыс-самок тестировали через 1 сутки, 8 суток, 30 суток и через 4 месяца после облучения; самцов – через 1 сутки, 8 суток и 40 суток после воздействия.

У самок крыс, облученных в дозе 3 Гр, через 8 и 30 суток после воздействия было зарегистрировано небольшое, в пределах физиологических колебаний, но статистически значимое, удлинение лаг-фазы, а через 30 суток – и снижение скорости обучения. Через 4 месяца после облучения эти показатели пришли в норму. Все остальные показатели у опытных крыс-самок во все сроки наблюдения не отличались от таковых от контроля.

У самцов, облученных в дозе 6 Гр, установлено удлинение лаг-фазы (на уровне тенденции на 8-е сутки и статистически значимое на 40-е сутки) у животных опытных групп по сравнению с контролем. Однако по количеству успешных РИ группы не отличались друг от друга.

Таким образом, процесс обучения у крыс по тесту выработки и воспроизведения УРАИ не был существенно нарушен ни при какой из использованных нами дозах протонов высоких энергий.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ И ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА БЫСТРО ПРОЛИФЕРИРУЮЩИЕ КЛЕТКИ

Белкина С.В.¹, Пузикова С.В.², Переклад О.В.¹, Пронкевич М.Д.¹

¹Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия

²Обнинский институт атомной энергетики – филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск, Россия
s.v.belkina@mrrc.obninsk.ru

Сопутствуя лучевой и химиотерапии, гипертермия позволяет повысить чувствительность опухолевых клеток к данным видам воздействий, и тем самым снизить поражающую нагрузку каждого агента. Кроме того, при комбинированных воздействиях возможен как аддитивный, так и усиливающий эффект двух факторов. Ранее было показано, что при действии на клетки в стационарной стадии роста наблюдался синергический эффект при комбинациях излучения либо цитостатика с гипертермией.

Цель работы – сравнить степень модификации гипертермией инактивирующего действия ионизирующего излучения или циклофосфида на клеточные системы с высокой скоростью пролиферации.

На дрожжевые клетки *S. cerevisiae* XS800 воздействовали комбинацией гипертермии (43-51 °С) с плотноионизирующим альфа-излучением (5,1 МэВ, 130 кэВ/мкм, 25 Гр/мин), либо с противоопухолевым препаратом циклофосфамидом (4 мг/мл). Изучали клоногенную активность клеток, находящихся в экспоненциальной стадии роста, методом макроколоний. Количественную оценку степени взаимного влияния агентов оценивали с помощью коэффициента синергизма (k), рассчитанного как отношение D_0 для экспериментальной и теоретической кривых выживаемости. Статистическую обработку данных, полученных в разных сериях экспериментов, проводили с применением t -критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

При анализе совместного воздействия повышенной температуры и излучения выявлено аддитивное действие факторов при всех рассмотренных температурах. Коэффициенты синергизма не превышают 1 (при 43 °С – $k = 0,94 \pm 0,05$; при 47 °С – $k = 0,95 \pm 0,05$; при 50 °С – $k = 0,89 \pm 0,05$). В то время как комбинация повышенной температуры и цитостатика показала синергическое взаимодействие в использованном температурном диапазоне (при 47 °С – $k = 1,81 \pm 0,05$; при 48,5 °С – $k = 1,9 \pm 0,05$; при 50 °С – $k = 1,27 \pm 0,05$; при 51 °С – $k = 1,15 \pm 0,05$). Причем эффект синергизма при действии гипертермии с циклофосфамидом регистрируется лишь в пределах определенного температурного диапазона, с оптимальной температурой, при которой наблюдается максимальный синергизм (48,5 °С).

При терморационном поражении быстро пролиферирующих клеток *S. cerevisiae* выявлен аддитивный характер взаимодействия во всем исследованном температурном диапазоне. В то время как та же тепловая нагрузка вызвала усиление токсичности циклофосфамида, причем выявлено наличие оптимальной температуры, вызывающей максимальный коэффициент синергизма.

***DAPHNIA MAGNA* КАК МОДЕЛЬНЫЙ ОРГАНИЗМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТРАНСГЕНЕРАЦИОННЫХ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ**

Савина Н.Б.¹, Ускалова Д.В.², Петросова Д.Т.²,

Кузьмичева О.В.², Жалнина А.А.², Сарапульцева Е.И.^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия

²Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

nsavina15@yandex.ru

В настоящее время лучевая терапия является одной из наиболее востребованных областей медицинской практики, в частности, в онкологии. В связи с вышеизложенным представляется актуальным изучение и прогнозирование закономерностей биологических эффектов облучения и рисков негативного воздействия на здоровые ткани. Исследования радиационно-индуцированных эффектов ионизирующего излучения на организм традиционно проводятся на «золотом стандарте» – крысах и мышах, на клеточном и тканевом уровнях. Однако не меньший интерес представляет анализ эффектов облучения на уровне целостного организма и создание надежной и доступной тест-системы первичного скрининга.

Низшие ракообразные *D. magna* являются стандартным и общепринятым тест-объектом для проведения радиобиологических и токсикологических исследований. Важными факторами широкого использования *D. magna* в качестве модельного организма являются высокая чувствительность, простота и оптимальная стоимость культивирования в лабораторных условиях, а также короткий жизненный цикл рачков (обычно не превышает 10-11 недель), что позволяет проанализировать эффект в нескольких поколениях организмов. Кроме того, *D. magna* хорошо изучены с точки зрения эволюции, физиологии и генетики.

В наших предыдущих работах *D. magna* были использованы в качестве модели для изучения токсического действия γ -излучения в малых дозах. С помощью МТТ-теста, адаптированного нами для исследований на организменном уровне и интегрально отражающего

жизнеспособность клеток и их метаболическую активность, установлено, что облучение *D. magna* в дозах 100 и 1 000 мГр (мощность дозы – 960 мГр/мин) вызывает снижение МТТ-показателя, т. е. оказывает токсический эффект. Обнаружено, что токсический эффект сохраняется и у необлученного потомства. Кроме того, между нарушениями показателя МТТ-теста и выживаемостью *D. magna* была выявлена корреляция в двух поколениях.

Ранее нами также изучалось влияние протонного излучения на *D. magna* на различных стадиях онтогенеза. Животных облучали протонами в дозе 10 Гр (энергия – 150 МэВ) в возрасте от 1 до 10 суток. Показатели выживаемости и плодовитости оценивали как у непосредственно облученных особей (F0), так и у их необлученного потомства первого поколения (F1). Значимого снижения выживаемости в поколении F0 не наблюдалось. Однако этот эффект был выявлен в первом необлученном поколении F1. В то же время у ракообразных поколения F0 было зафиксировано значительное снижение общей плодовитости и ее составляющих (количество пометов на самку, количество новорожденных на помет). Необлученное потомство проявляло те же реакции, что и особи поколения F0, облученные в ювенильный период. Это доказывает высокую уязвимость данного периода онтогенеза *D. magna*.

В дальнейшем планируется тщательное изучение механизмов трансгенерационных нарушений физиологических параметров *D. magna*, а также исследование эффектов комбинированного воздействия на *D. magna* ионизирующего излучения и наночастиц золота.

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ ПЫЛИ УРАНОВОЙ РУДЫ

Сайфулина Е.А., Казымбет П.К., Бахтин М.М., Тажибаева Д.С.

Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

irrp@amu.kz

Исследование воздействия ионизирующего излучения на центральную нервную систему (ЦНС) в течение многих десятилетий является актуальным. Известно, что уран способен индуцировать окислительный стресс, пересекать гематоэнцефалический барьер, вызывать повреждение клеток, что дает серьезные основания для беспокойства по поводу потенциального воздействия соединений урана на ЦНС.

Целью исследования явилось изучение морфофункционального состояния нервной системы у крыс после пролонгированного поступления ПУР в организм животных в дозе 25 предельно допустимых концентрация (ПДК).

Исследования были выполнены на 30 половозрелых крысах-самцах, которые были разделены на 2 группы: I группа (контрольная группа) – интактные особи (n = 15), II группа (опытная группа) – самцы, подвергшиеся внутреннему облучению в дозе 25 ПДК (n = 15). Урановая интоксикация животных моделировалась путем перорального поступления пыли урановой руды (ПУР) в течение 7 суток вместе с кормом. Масса пыли урановой руды для однократного кормления животных опытной группы составила 2,8 г. Уровень тревожности экспериментальных животных оценивали по многопараметровой шкале тревожно-фобических состояний. У всех экспериментальных животных оценивали исходный уровень тревоги, далее проводили исследование на 1-е, 7-е и 14-е, 21-е и 30-е сутки после моделирования урановой интоксикации. После затравки ураном проводили морфологическое исследование коры головного мозга крыс по общепринятой методике.

Результаты морфологического исследования коры головного мозга крыс-самцов, подвергшихся воздействию ПУР, свидетельствовали о неспецифических признаках характерных для интоксикационного синдрома, который проявлялся отеком и дистрофическими изменениями сосудов коры головного мозга на фоне расстройств микроциркуляции. Были выявлены деформированные и сморщенные нейроны коры головного

мозга, часть нейронов находились в состоянии острого набухания, встречались и единичные погибшие нейроны.

Анализ тревожно-фобического статуса показал, что в группе интактных особей отмечали постепенное снижение показателя тревожности с достоверными отличиями в последние сутки исследования (21-е и 30-е сутки). У крыс опытной группы уровень тревожности на 21-е и 30-е сутки исследования достоверно превышал таковой показатель в контрольной группе ($6,04 \pm 2,7$ и $6,11 \pm 2,5$) и составлял $8,29 \pm 1,8$ и $8,25 \pm 2,2$ балла соответственно ($p < 0,05$), что может свидетельствовать о формировании у них устойчивого тревожного состояния.

Таким образом, пролонгированное энтеральное поступление ПУР в дозе 25 ПДК вызывало изменение морфофункционального состояния ЦНС. Морфологические нарушения коры головного мозга крыс были неспецифическими, характерными для интоксикационного синдрома, изменения тревожности наблюдали на 21-е и 30-е сутки исследования, свидетельствуя о формировании у животных хронического психо-эмоционального стресса.

НЕКОТОРЫЕ СУБПОПУЛЯЦИИ ЛИМФОЦИТОВ И ИХ СУБКЛЕТОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ У ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВНУТРИУТРОБНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

Синельщикова О.А., Рыбкина В.Л., Ослина Д.С., Азизова Т.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

В ранние годы деятельности первого в Российской Федерации предприятия атомной промышленности производственного объединения (ПО) «Маяк» вследствие несовершенства технологии некоторые работницы подверглись облучению в период беременности, и, как следствие, их потомки подверглись внутриутробному облучению.

Цель настоящего исследования – оценка субпопуляционного состава лимфоцитов и их субклеточных структур у лиц, подвергшихся внутриутробному облучению.

Проведено исследование потомков, подвергшихся внутриутробному облучению в результате профессиональной деятельности их матерей (основная группа), а также контрольной группы – лиц, не подвергавшихся внутриутробному облучению. Основную группу составили 27 человек (78 % женщин), подвергшихся внутриутробному облучению; в контрольную группу включены 28 человек (93 % женщин). Средний возраст на момент обследования был $66,9$ ($SD - 1,8$) лет в основной группе и $65,2$ ($SD - 5,2$) лет в контрольной группе. В исследовании использованы поглощенные в костном мозге (КМ) дозы внешнего гамма-излучения дозиметрической системы работников ПО «Маяк» – 2013. Диапазон доз составил $110,6-516,1$ мГр. Содержание основных субпопуляций лимфоцитов определяли с помощью проточной цитофлюориметрии; для цитогенетического анализа (ЦГА) использовали метод mFISH.

Не выявлено различий в содержании основных субпопуляций лимфоцитов между группами, за исключением относительного количества Т-лимфоцитов ранней активации, которое в основной группе было ниже при сравнении с контрольной группой ($p < 0,05$). Обнаружена тенденция к снижению этого показателя с увеличением суммарной дозы внешнего гамма-излучения матери в период беременности.

У потомков работниц ПО «Маяк», подвергшихся внутриутробному облучению, зарегистрированы стабильные и нестабильные хромосомные aberrации (ХА). К нестабильным ХА относили хроматидные разрывы (ХР) и ацентрические фрагменты (АФ). Стабильные ХА были представлены транслокациями и делециями. Частота стабильных ХА в целом и транслокаций, в частности, была статистически значимо выше в основной группе по сравнению с контрольной группой. Не выявлено статистически значимых различий в частоте делеций, нестабильных ХА в целом, АФ и ХР между основной и контрольной группами. Кроме того, выявлена прямая корреляция количества стабильных ХА в целом и транслокаций, в частности, с суммарной дозой внешнего гамма-излучения, поглощенной КМ матери в период беременности.

В результате исследования лиц, подвергшихся внутриутробному облучению, установлено статистически значимое увеличение частоты стабильных ХА (преимущественно за счет транслокаций) у потомков, подвергшихся внутриутробному облучению, по сравнению с контрольной группой. Не выявлено статистически значимых различий в содержании основных субпопуляций лимфоцитов между основной и контрольной группами.

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ОЖИРЕНИЯ СРЕДИ РАБОТНИКОВ ЯДЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сокольникова С.С., Поволоцкая С.В., Рабинович Е.И.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
povolotskaja@subi.su

Ожирение, приводящее к развитию ряда тяжелых хронических заболеваний, является актуальной медико-социальной проблемой. При ожирении существенно возрастают риски развития патологии пищеварительной и сердечно-сосудистой систем, онкологических заболеваний, сахарного диабета II типа, отмечается тенденция к увеличению общей смертности в популяции. Согласно сведениям последних лет, ожирение отнесено к основным факторам риска тяжелого протекания и смертности от коронавирусной инфекции. Ожирение является значимым негативным фактором, влияющим на здоровье персонала, постоянно контактирующего с источниками ионизирующего излучения.

Целью настоящей работы была оценка распространенности ожирения у работников, занятых на основных заводах ядерного промышленного комплекса, а также анализ связи ожирения с показателями жирового и углеводного обменов.

Объектом исследования была группа работников радиохимического и плутониевого заводов производственного объединения «Маяк», состоящая из 132 человек (средний возраст $53,23 \pm 0,78$ лет). Антропометрические данные получали из медицинских документов, степень избыточного веса и ожирения оценивалась в соответствии с расчетным индексом массы тела (ИМТ) в $\text{кг}/\text{м}^2 = \text{масса тела (МТ), кг}/\text{рост, м}$. В сыворотке крови натошак определяли концентрацию глюкозы, общего холестерина (ОХ) и триглицеридов (ТГ).

Распространенность избыточной массы тела и ожирения, зарегистрированная у 75 % участников группы (таблица), сопоставима с результатами популяционных исследований населения РФ этой возрастной категории. Ожирение I степени имели 29 %, II-III степени 9 % работников. У лиц с $\text{ИМТ} \geq 30$ в 24 % случаев отмечали наиболее опасную форму – морбидное ожирение с очень высоким риском развития тяжелых сопутствующих заболеваний. Частота ожирения среди мужчин (43,6 %) была несколько выше популяционного уровня (30-36 %), среди женщин (19 %) не превышала возрастного диапазона (40-50 %). Гиперлипидемия в группе мужчин с ожирением встречалась статистически значимо чаще, чем у лиц с нормальным ИМТ ($\text{ОШ}_{\text{ОХ}} 1,8$, 95 %ДИ (1,2-2,8); $\text{ОШ}_{\text{ТГ}} 2,6$, 95 % ДИ (1,3-4,5)). Выявлена положительная корреляция ИМТ с концентрацией глюкозы и ТГ (табл. 1).

Табл. 1. Распространенность ожирения (по ИМТ) и средние концентрации глюкозы и липидов в сыворотке крови ($M \pm m$)

Категории ИМТ, ($\text{кг}/\text{м}^2$) [^]	Вся группа (132 чел.)					
	n	%	Ср. возраст, лет	ОХ ммоль/л	ТГ ммоль/л	Глюкоза ммоль/л
Нормальная МТ (18,5-24,9)	33	25,0	$54,1 \pm 1,8$	$5,40 \pm 0,21$	$1,42 \pm 0,14$	$5,19 \pm 0,27$
Избыточная МТ (25-29,9)	49	37,1	$53,7 \pm 1,3$	$5,95 \pm 0,19$	$2,01 \pm 0,21^*$	$5,67 \pm 0,20$
Ожирение (≥ 30)	50	37,9	$52,2 \pm 1,1$	$5,48 \pm 0,18$	$2,17 \pm 0,23^*$	$5,87 \pm 0,2^*$

Примечания: [^]в соответствии с классификацией ВОЗ (1997); *отличия показателей от группы лиц с нормальной массой тела статистически значимы, $p \leq 0,05$.

В более ранних исследованиях персонала было показано влияние на липидный статус облучения в дозах, превышающих предельно допустимые уровни. На современном атомном

производстве при существенном снижении лучевых нагрузок решающее значение в развитии ожирения имеют нерадиационные факторы – высокая калорийность профилактического питания, принятая на ядерных предприятиях, сменный график работы, низкая физическая активность, высокая распространенность табакокурения, злоупотребление алкоголем. Комплекс этих факторов приводит к существенным нарушениям метаболизма углеводов и липидов, о чем свидетельствует выявленная статистически значимая положительная связь ожирения с частотой и уровнем гиперлипидемии у мужчин работников ядерного предприятия.

**«СТАНДАРТНЫЙ/УСЛОВНЫЙ ЛИКВИДАТОР»:
К ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ ИТОГАМ
И ПЕРСПЕКТИВАМ РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Пронин М.А.¹, Богомолов А.В.², Солдатов С.К.², Ушаков И.Б.³

¹Институт философии РАН, г. Москва, Россия

²НИИЦ (АКМ и ВЭ) ЦНИИ ВВС (Минобороны России), г. Москва, Россия

³ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
soldatov2304@yandex.ru

Последствия облучения и участия в работах по ликвидации последствий аварии (ЛПА) на ЧАЭС для вертолетчиков носят не преходящий, не транзитный, но «витальный» характер; десятилетиями сохраняются и в организме (в его функциональных системах), и в жизни летного состава вертолетов последствия их участия в ЛПА, где радиационный фактор вносит достоверный и значимый вклад в картину самочувствия и жизни ликвидатора. Практически все шаги для получения результатов были сделаны впервые, в режиме эвристического проектирования исследований, если под последней понимать программный метод решения сложных научно-технических, социальных и народно-хозяйственных проблем.

В предлагаемом контексте философии как экспертизы, которая включает экспертизу и гуманитарную, и биоэтическую, мы вынуждены констатировать, что существующая система наблюдения за ликвидаторами-вертолетчиками не адекватна ни их социальному вкладу в ЛПА, ни тому ее значению для фундаментальной медицины во всех аспектах и дисциплинах, связанных с системами «человек-машина», с теми же перспективными природоподобными технологиями.

Продолжение медицинских наблюдений за ликвидаторами – важнейшая научная и социальная государственная задача в эпоху, когда ядерная энергетика должна стать природоподобной по своему воздействию на человека, общество и планету Земля. В нашем случае речь может идти о методологическом выделении группы вертолетчиков – участников ЛПА на ЧАЭС – как идеального теоретического конструкта, представляющего «стандартного/условного ликвидатора».

Очевидно, что в данном положении мы отталкиваемся от концепции предложения Главной комиссии МКРЗ (Публикация 23, 1974 (англ.)/1977 (рус.)) ввести термин «стандартный человек» («StandardMan»), который был затем заменен на «условный человек» («ReferenceMan»): «Сущность концепции «условного человека» заключается в том, что четко определены его основные медико-биологические параметры и указаны их возможные вариации, что крайне важно для оценки величины поглощенной дозы. В случае необходимости любой специалист, работающий в области радиационной безопасности, может внести необходимые поправки на индивидуальные различия и корректно произвести расчет индивидуальных и популяционных доз». Опираясь на «медико-психолого-социальный портрет» условного ликвидатора, можно будет достаточно быстро на качественном уровне сделать некоторые прогнозы – в том числе на основе «дозиметрии без дозиметров»! – и сформировать параметры для обследования и диспансерного наблюдения за конкретным участником ЛПА на АЭС.

Полагаем, что оценка и надлежащее методологическое оформление и фактологическое (медицинское, психологическое и пр.) наполнение идеи концепта/теоретического конструкта

«стандартный/условный ликвидатор» на базе результатов исследований найдет свое достойное место и применение в современной медицинской радиологии, медицине катастроф и организации военного и гражданского здравоохранения чрезвычайных ситуаций.

СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЛЕТНОГО СОСТАВА ПОСЛЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Солдатов С.К.¹, Пронин М.А.², Филатов В.Н.¹, Мусаева Р.Н.¹, Смирнова П.А.³

¹НИИЦ (АКМ и ВЭ) ЦНИИ ВВС (Минобороны России), г. Москва, Россия

²Институт философии РАН, г. Москва, Россия

³Первый МГМУ им. И.М. Сеченова г. Москва, Россия

virtus@mail.ru

Летный состав (ЛС) вертолетов, принимавший участие в ликвидации последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС на протяжении 2-10 суток начального ее периода, подвергся воздействию комплекса радиационных факторов – сочетанному внешнему β - и γ -облучению и внутреннему радиоактивному заражению при определяющем вкладе в поглощенную дозу внешнего относительно равномерного γ -излучения в пределах 0,1-0,5 Гр.

Комбинированное воздействие нерадиационных и радиационных факторов вызвало у вертолетчиков закономерные изменения функционального состояния различных органов и систем организма, выраженность и характер которых находится в связи с продолжительностью и дозой облучения, напряженностью профессиональной деятельности, местом работы и исходным состоянием организма.

У вертолетчиков, участников ЛПА на ЧАЭС, на 2-3-и сутки работы развивались симптомы астенизации и вегетативных нарушений (10,4 %), диспепсические расстройства (5,2 %), першение в горле, осиплость голоса, сухой кашель (2,4 %). В конце первой – начале второй недели с начала работ у пострадавших отмечались: дерматит открытых участков кожи (8,5 %), острый риноларингофарингит (7,3 %), нейроциркуляторная дистония по гипертензивному типу (7,3 %), астено-вегетативный синдром (3,7 %), диспепсические расстройства (2,4 %) и острый двусторонний конъюнктивит (2,4 %). Характерным являлось сочетание нескольких синдромов.

Гематологический синдром развивался у 22 % обследованных, при этом изолированная тромбоцитопения – в 8,5 % случаев, лейкопения – в 2,4 %, лимфопения в сочетании с тромбоцитопенией – в 1,2 % и лимфопения в сочетании с лейкопенией – в 6,1 %. Максимальное снижение содержания тромбоцитов (до $130 \times 10^9/\text{л}$) приходилось на 30-50-е сутки, лейкоцитов (до $3,3 \times 10^9/\text{л}$) – на 38-44-е сутки и лимфоцитов (до $1,0-1,2 \times 10^9/\text{л}$) – на 40-60-е сутки. Снижение этих показателей сохранялось на протяжении 5-6 месяцев.

Изменения функционального состояния кардио-респираторной системы (КРС) проявлялись достоверными гемодинамическими расстройствами, нарушениями сократительной способности миокарда, ритма, проводимости, вентиляционными нарушениями функции внешнего дыхания и как результат – снижением физической работоспособности. Они максимально выражены в первую неделю с начала облучения, их восстановление у большинства пострадавших наступало через 3 недели, а у некоторых лишь через 2-3 месяца.

Подтверждено приоритетное воздействие ионизирующего излучения (ИИ) на состав форменных элементов крови. Изменения же функционального состояния КРС, работоспособности и некоторых биохимических и иммунологических показателей обусловлены воздействием не только радиационных, но и нерадиационных факторов. Методами многомерной статистики выявлены 2 группы пораженных, различающихся по ряду показателей крови, функционального состояния КРС и дозе облучения, граница которой лежит в пределах 0,3 Гр. Подтверждена значимость многомерного метода распознавания при изучении субклинических проявлений сочетанного воздействия малых доз ИИ и нерадиационных факторов.

Выделение вышеуказанных классов позволяет определить биологически оптимальный (оправданный) режим работы ЛС на радиоактивно загрязненной местности, не допускающий неконтролируемого перехода через интегральный физиологический рубеж, формируемый ИИ.

ЭНДОКРИННЫЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА У ПОТОМКОВ РАБОТНИКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «МАЯК»

Соснина С.Ф., Окатенко П.В., Сокольников М.Э.

ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики» ФМБА России, г. Озерск, Россия
sosnina@subi.su

Проблема оценки воздействия радиационного фактора на состояние здоровья работников атомной индустрии и их потомков не теряет своей актуальности в связи с развитием атомной энергетики и сохраняющимися опасениями мирового сообщества относительно долгосрочных последствий. Анализ возможной роли преконцептивного (до зачатия) облучения родителей как потенциального фактора канцерогенеза и целого ряда неопухоловых мультифакторных заболеваний у детей необходим для разработки профилактических мер в отношении персонала радиационно опасных производств и их потомков. Целью работы являлся сравнительный анализ эндокринно-обменной патологии среди детей, чьи родители подверглись пролонгированному преконцептивному внешнему облучению гамма-излучением на производственном объединении (ПО) «Маяк» – первом в стране предприятии атомной отрасли.

Ретроспективное эпидемиологическое исследование выполнено на основе «Регистра здоровья детского населения г. Озерск», градообразующим предприятием которого является ПО «Маяк». Анализ эндокринно-обменных расстройств проведен среди 13 880 детей 1949-1973 г.р., родившихся и проживавших в г. Озерске, из которых у 9 321 ребенка родители до зачатия подверглись пролонгированному внешнему облучению гамма-излучением на производстве. Проведен сравнительный анализ структуры и частоты болезней эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ и его нозологических форм. Проанализированы особенности преконцептивного облучения родителей при детской тиреоидной патологии. Рассчитан относительный риск эндокринно-обменных нарушений среди детей экспонированных и неэкспонированных родителей в целом по классу и по нозологиям.

Среди потомков работников ПО «Маяк» отмечено значимое преобладание болезней щитовидной железы и, в частности, йододефицитных состояний, которые диагностировались в более раннем возрасте, чем в контроле, и в большинстве случаев относились к преконцептивному облучению родителей в области малых доз. Рак щитовидной железы зарегистрирован в последующем у 0,16 % (15/9 321) исследуемой когорты потомков облученных родителей со средним возрастом манифестации 42,6 года (0,24 % (11/4 559) среди потомков необлученных лиц, $p > 0,05$). Относительный риск болезней щитовидной железы был значимо выше среди потомков экспонированных родителей по сравнению с контролем: в целом по группе – 1,64 (95 % доверительный интервал 1,34-2,01), среди мальчиков – 2,0 (1,38-2,9), среди девочек – 1,59 (1,25-2,02). Относительный риск болезней щитовидной железы, связанных с йодной недостаточностью, среди потомков персонала ПО «Маяк» существенно превышал показатели в контроле: 1,7 (1,36-2,12) в целом по группе, 1,92 (1,3-2,84) среди мальчиков, 1,68 (1,29-2,2) среди девочек.

Учитывая одинаковые климато-географические условия, возможное техногенное радиационное воздействие и единое медицинское обеспечение наблюдаемых детей, статистически значимое преобладание неопухоловой патологии щитовидной железы у потомков персонала ПО «Маяк» нельзя объяснить внешними причинами. Повышенная восприимчивость щитовидной железы к дефициту йода и ее предрасположенность к гипертрофии и гиперплазии среди потомков, чьи родители подверглись длительному профессиональному контакту с источниками ионизирующих излучений, не исключается, что важно учитывать при проведении медицинского мониторинга этих лиц. Дальнейшие

исследования долгосрочных последствий прекоцептивного облучения у потомков персонала радиационно опасных производств необходимы для полного понимания роли производственного облучения в риске для здоровья последующих поколений.

ХРОНИЧЕСКОЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ ВЫЗЫВАЕТ ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОВИТОСТИ МЫШЕЙ

Старобор Н.Н., Раскоша О.В.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

starobor@ib.komisc.ru, raskosha@ib.komisc.ru

Поддержание численности животных, обитающих на радиоактивно загрязненных территориях, зависит от их репродуктивных возможностей. Для выявления четких закономерностей «доза-эффект» в области малых доз и интенсивности действия факторов необходимо изучение отдаленных радиационно-индуцированных последствий на репродуктивные показатели животных в контролируемых условиях эксперимента с возможностью точной дозировки радиационного воздействия. Целью настоящего исследования была оценка влияния хронического низкоинтенсивного облучения γ -излучением в малой дозе на репродуктивный потенциал мелких млекопитающих.

Исследования проведены на мышах линии *Af*, полученных из УНУ «Научная коллекция экспериментальных животных» ФГБНУ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (<http://www.ckprf.ru/usu/471933/>). Половозрелых самцов и самок опытной группы (F0) в течение 84 суток подвергали общему облучению γ -излучением от двух источников ^{226}Ra при средней мощности дозы 150 мкЗв/ч, суммарная поглощенная доза составила 30 сГр. Для оценки плодовитости сразу после окончания радиационного воздействия были сформированы пары для размножения. Одновременно с опытными животными на размножение были посажены мыши контрольной группы. В течение последующих трех месяцев в каждой группе животных регистрировали число самок, участвующих в размножении, число пометов и количество рожденных детенышей. Аналогичные показатели размножения были изучены у их потомков F1 и F2. Контрольные и опытные группы животных содержали в идентичных условиях (при температуре 22-24 °С, влажности воздуха 55 % и стандартном корме).

Полученные данные показали повышение плодовитости у мышей после хронического облучения в используемой дозе, что проявлялось в статистически значимом увеличении числа детенышей на самку и числа детенышей в помете. У облученных животных были зарегистрированы пометы, состоящие из 7-9 детенышей, тогда как у контрольных самок число детенышей, рожденных в одном помете, не превышало 6 особей. У потомков облученных животных также обнаружена стимуляция плодовитости; увеличение числа детенышей на самку в поколениях F1 и F2 и числа детенышей в помете в поколении F1. Самки опытных групп чаще вступали в размножение, по сравнению с самками соответствующих контрольных групп – в F1 на 19 %, в F2 на 8 %. Следует также отметить, что после хронического облучения особей выявлен высокий относительно контроля уровень гибели детенышей в первые сутки после рождения (в F0 на 13 %), что прослежено и у их потомков в F1 и F2 (на 12 и 23 % соответственно). Таким образом, результаты проведенного эксперимента свидетельствуют о стимулирующем эффекте низкоинтенсивного ионизирующего излучения в дозе 30 сГр на плодовитость мышей линии *Af*, что сопровождалось увеличением гибели новорожденных детенышей и о возможности передачи радиационно-индуцированных изменений потомкам.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600024-5.

ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛАГЕНА В ОЧАГАХ ЛЕГОЧНОГО ФИБРОЗА У РАБОТНИКОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

Сычугов Г.В.¹, Азизова Т.В.², Осовец С.В.², Казачков Е.Л.¹, Ревина В.С.², Григорьева Е.С.²

¹ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный медицинский университет

Минздрава России, г. Челябинск, Россия

²ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия

clinic@subi.su

Легочный фиброз (ЛФР), возникающий под действием внутреннего облучения альфа-излучением легких у работников, подвергшихся профессиональному воздействию аэрозолей трансураниевых элементов, рассматривается как детерминированный эффект (тканевая реакция). Первый случай ЛФР был зарегистрирован в когорте работников производственного объединения (ПО) «Маяк». Целью нашего исследования являлся поиск морфологических особенностей при сравнении с легочным фиброзом другого генеза, используя биологические образцы тканей легких работников, подвергшихся внутреннему облучению альфа-излучением.

Для установления морфологических особенностей ЛФР были изучены биологические образцы тканей легких у 125 работников ПО «Маяк»: у 56 работников с диагнозом ЛФР (1-я группа) и у 34 работников с легочным фиброзом другого генеза (в исходе хронических воспалительных заболеваний легких) (ЛФДГ, 2-я группа). Все указанные диагнозы были установлены у работников при жизни и подтверждены на аутопсии.

Для выявления стромы легких и очагов пневмофиброза гистологические срезы были окрашены по методу Ван Гизона; по Гомори и по Вейгерту. Иммунохимическим методом исследованы коллагены I, IV и V типов. Рассчитывали относительную плотность изучаемых структур. Распределение стромы легких и очагов пневмофиброза (в объемных процентах от общего объема образца, об%) описывали с помощью функции распределения Вейбулла.

Наиболее выраженный легочный фиброз обнаружен в образцах 1-й группы; общее содержание фиброзной ткани было на 11 % больше, чем в образцах 2-й группы. При анализе состава соединительной ткани в обеих группах выявлено снижение плотности стромы легких. Архитектоника эластических волокон была существенно изменена – волокна были деформированы, неоднородной толщины, значительно утолщены.

Статистически значимые различия между группами выявлены для объемной плотности содержания коллагена V типа ($p < 0,05$); объем коллагена V типа в образцах тканей легких с ЛФР был значимо больше при сравнении с образцами ЛФДГ. Показано, что кумулятивные кривые распределения объемной плотности содержания волокон коллагена V типа значимо различаются по медианным значениям и параметрам формы модели Вейбулла между группой биологических образцов с ЛФР и ЛФДГ. Анализ показал, что параметры распределений (медиана и параметр формы) статистически значимо различались между группами для всех характеристик, за исключением параметра формы модели для коллагена IV типа.

В результате статистического анализа были обнаружены качественные и количественные морфологические особенности ЛФР при сравнении с ЛФДГ, позволяющие заключить, что в развитии ЛФР главную роль играет гиперпродукция коллагенов IV и V типов. В то время как в очагах пневмофиброза, развивающегося в результате хронических заболеваний легких, состав коллагенов представлен в равной степени I, IV и V типами.

Результаты исследования показали, что ЛФР является особым типом легочного фиброза, отличающимся от пневмофиброза, развивающегося в исходе хронической обструктивной болезни легких. Основной объем фиброзной ткани в очагах ЛФР у работников, подвергшихся внутреннему облучению альфа-излучением, представлен коллагеновыми волокнами IV и V типов.

ОЦЕНКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, СМЕРТНОСТИ И ЛЕТАЛЬНОСТИ ПРИ ИНФАРКТЕ МИОКАРДА В КОГОРТЕ ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тахауов А.Р., Калинин Д.Е.

Северский биофизический научный центр ФМБА России, г. Северск, Россия
mail@sbrc.seversk.ru

Сердечно-сосудистые заболевания занимают лидирующее место в структуре причин смерти населения промышленно развитых стран. Влияние техногенных факторов на развитие инфаркта миокарда (ИМ) изучено недостаточно. Ввиду широкого применения в современном мире ионизирующего излучения (ИИ) интерес к его влиянию на заболеваемость, смертность и летальность вследствие ИМ становится актуальной проблемой. Эпидемиологические исследования, выполняемые на основе когорт лиц, работающих на радиационно опасных производствах и подвергающихся профессиональному облучению, являются основным источником для получения информации о влиянии ИИ на организм человека. Раннее проводимые исследования, выполненные на работниках объектов использования ионизирующего излучения (ОИИИ), не дали окончательного ответа о связи ИИ и развития ИМ. Исходя из этого можно говорить о том, что оценка вклада ИИ в патогенез ИМ требует проведения дальнейших исследований.

Оценка показателей заболеваемости, смертности и летальности от ИМ у лиц, подвергавшихся профессиональному облучению, на основании данных регионального медико-дозиметрического регистра (РМДР) и регистра ИМ.

Период наблюдения охватывал 1995-2017 гг. Изучаемая когорта включала работников ОИИИ, имеющих дозу внешнего облучения, внутреннего облучения, а также без дозы ИИ. Общая численность когорты – 2 377 человек, из них 1 390 мужчин и 987 женщин. Информация об остром коронарном синдроме среди работников ОИИИ старше 20 лет собиралась в соответствии с программой "Регистр инфаркта миокарда", созданной Всемирной организацией здравоохранения в 1968 г. Диагноз "острый инфаркт миокарда" устанавливался по 2 категориям: "определённый" и "возможный" с использованием стандартных критериев (клинической картины заболевания, изменений на электрокардиограмме, повышения активности маркеров некроза миокарда), а в случаях смерти – данных морфологических изменений в миокарде и коронарных сосудах. Диагноз "острый инфаркт миокарда" (коды по МКБ-10 I 21.0-I 21.4) был верифицирован у 1 956 человек (у 1 399 мужчин и у 557 женщин). Окончанием наблюдения для работников без ИМ являлась дата окончания периода наблюдения (31.12.2017), для умерших – дата смерти, для лиц с ИМ – дата установления диагноза заболевания, для уехавших с места жительства – дата последнего уточнения жизненного статуса. Для всех членов когорты жизненный статус был уточнён.

При оценке показателей заболеваемости, смертности и летальности вследствие ИМ среди когорты персонала ОИИИ общая заболеваемость ИМ выросла с 774,7 до 1 316,0 (при этом доля мужчин сохранялась за весь период одинаковой $70 \pm 5 \%$ и женщин $30 \pm 5 \%$). Что касается смертности и летальности от ИМ в той же когорте лиц, то общая смертность от ИМ в наблюдаемый период выросло с 0,124 до 0,178 % (у мужчин с 0,148 до 0,216 %, у женщин с 0,077 до 0,102 %). Общая летальность также имела тенденцию к росту с 16,1 до 35,6 % (у мужчин с 17,2 до 32,7 %, у женщин с 12,9 до 41,2 %).

Анализ показателей заболеваемости, смертности и летальности персонала ОИИИ позволил зарегистрировать повышение вышеупомянутых показателей ИМ как у мужчин, так и у женщин старшей возрастной группы в условиях изолированного внешнего облучения. По результатам проведённого исследования можно говорить о повышении уровня показателей заболеваемости, смертности и летальности у работников ОИИИ, подвергавшихся воздействию профессионального ИИ. У работников изучаемой когорты была установлена статистически значимая тенденция увеличения заболеваемости ИМ при наличии ИИ в период 1995-2017 гг.

Работа выполнена в рамках госзадания № 388-00162-22-00.

ОСОБЕННОСТИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ЖИВОТНЫХ С РАЗЛИЧИЯМИ В РЕАКЦИИ ТУЧНЫХ КЛЕТОК НА ГИПОКСИЮ

Ушаков И.Б.¹, Корденко А.Н.²

¹ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

²Воронежский государственный педагогический университет, г. Воронеж, Россия
iushakov@fmbcfmba.ru, akordenko@yandex.ru

Реакция тучных клеток является важной составляющей реализации «bystander effects» в радиобиологии. При этом сложный состав секрета этих клеток может производить разнонаправленный эффект в зависимости от особенностей радиационного воздействия.

Проведено исследование корреляции показателей реакции тучных клеток на гипоксию с характеристиками радиорезистентности при облучении γ -излучением в условиях, моделирующих кишечный, костномозговой и церебральный синдромы лучевой болезни. Экспериментальный материал – 345 белых крыс; виды радиационного воздействия – общее и кранио-каудальное; дозы – 8,7-76 Гр; условия облучения – обычная атмосфера, гипоксическая газовая смесь, кислород. Оценку реактивности тучных клеток производили с использованием гипоксической пробы с последующим гистологическим исследованием тучных клеток кожи при окраске толуидиновым синим.

При моделировании кроветворного радиационного синдрома (8,7 Гр) обнаружена отрицательная корреляция выраженности реакции тучных клеток на гипоксию с такими показателями, как средняя продолжительность жизни и 5-суточная выживаемость. Выявленная связь имеет место при облучении в естественной атмосфере, при радиационном воздействии в условиях гипоксии, а также в условиях гипероксии.

Обнаруженная закономерность подтверждается и при моделировании кишечного синдрома (11 Гр). При этом наиболее выраженное радиозащитное действие гипоксии в момент облучения наблюдается у животных со средней степенью реакции тучных клеток на гипоксию. В диапазоне среднего значения индекса реакции тучных клеток (129-139 баллов) 30-суточная выживаемость составила 23,8 % (при средней для облученных в гипоксии крыс 7,3 %), а средняя продолжительность жизни остальных (не выживших) крыс этого класса равнялась 11,3 суток (при тотальной средней – 8,2 суток).

При моделировании церебрального синдрома минимальные проявления ранней преходящей недееспособности при обучении в естественной атмосфере наблюдали у животных с низкой реактивностью тучных клеток. При модификации радиационного синдрома, как гипоксией, так и кислородом, снижение показателей ранней преходящей недееспособности наиболее выражено у крыс с высокими показателями реакции тучных клеток на гипоксию.

Полученные данные доказывают существование связи между реактивностью тучных клеток и проявлениями естественной и модифицированной радиорезистентности в широком диапазоне доз. Это позволяет сделать заключение о том, что конституционно обусловленные особенности реактивности тучных клеток, могут участвовать в формировании индивидуальных проявлений радиорезистентности. Есть основания полагать, что средний уровень реактивности тучных клеток может быть связан с благоприятным прогнозом модификации радиобиологического эффекта.

ОЦЕНОЧНЫЕ КРИТЕРИИ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ДОЗАХ

Ушаков И.Б.¹, Федоров В.П.²

¹ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
iushakov@fmbcfmba.ru

²Воронежская государственная академия спорта, г. Воронеж, Россия.
fedor.vp@mail.ru

Целью исследования являлось установление наиболее информативных оценочных критериев изменений в головном мозге при малых радиационных воздействиях. В качестве паттернов использовали клинико-физиологические данные летчиков, участвующих в ликвидации последствий радиационной аварии на ЧАЭС (более 1 000 человек, доза облучения $22,6 \pm 0,6$ сГр, возраст $33,6 \pm 6$ лет, случаев лучевой болезни не зафиксировано), а также данные экспериментов на 700 половозрелых крысах-самцах, подвергшихся облучению гамма-излучением в дозах и режимах, сопоставимых с таковыми у ликвидаторов, и исследованных с помощью морфологических методик и математического моделирования.

Анализ состояния здоровья ликвидаторов свидетельствовал о росте частоты заболеваний, среди которых значительное место занимали нарушения психоневрологического статуса. Отчетливо это продемонстрировано у летного состава, выполнявшего поставленные задачи в первые дни аварии на ЧАЭС и получившего регламентированные дозы облучения. При этом психические и неврологические заболевания по частоте превышали данные контрольной группы более чем в 5 раз. Однако данных о патогенезе заболеваний явно недостаточно для корректной оценки роли радиационного воздействия среди других вредных и опасных факторов летной работы. В ряде случаев органические изменения нервной системы трактовались как функциональные, а жалобы ликвидаторов могли расцениваться специалистами как проявление установки на получение льгот или отражение радиофобии. Приводимые нейроморфологами сведения не демонстрировали явной радиационной патологии в головном мозге при экспериментальном облучении животных в дозах, сопоставимых с полученными ликвидаторами. Исследования показывали, что нервная система обладает высокой функциональной чувствительностью к радиационному фактору, но в тоже время и высокой пластичностью. Выявленные изменения при облучении в малых дозах неспецифичны, протекали волнообразно и не имели дозовой или временной зависимости. В пострadiационном периоде преобладали пограничные сдвиги, отражающие различные варианты физиологической нормы нервных клеток. Они были обычно обратимы, но на их фоне могли формироваться патологические или компенсаторно-приспособительные процессы. В целом у облученных животных не установлено статистически значимого обеднения нейронной популяции по сравнению с возрастным контролем. Отсутствие в головном мозге отчетливых патологических изменений при малых радиационных воздействиях не стимулировало морфологов к проведению таких исследований. В настоящее время можно констатировать определенную стагнацию радиационной нейроморфологии, а активизировавшиеся биохимики, напротив, нередко описывают при аналогичных воздействиях целый каскад наблюдений вплоть до нейровоспаления и нейрогенеза.

Таким образом, клинико-физиологические и традиционные патоморфологические исследования не смогли выделить в комбинации многих вредных и опасных факторов среды роль малых радиационных воздействий в последующем развитии заболеваний нервной системы. Данное исследование в целом подтвердило эти наблюдения, причем математическое моделирование показало, что радиационное воздействие вызывало отклик большинства показателей функционального состояния нейронов, но со временем изменения нивелировались. Возможно, часть изменений сохраняется и накапливается, что и приводит к отдельным случаям психоневрологических нарушений. Такие флуктуации нейроморфологических показателей свидетельствуют о нестабильности нейронов и изменении их функционирования, вероятно, проявляющиеся повышенным риском нарушений здоровья у людей, подвергшихся облучению.

ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОГРАНИЧНЫХ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ МАЛЫХ ДОЗАХ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Федоров В.П.¹, Гундарова О.П.², Кварацхелия А.Г.², Маслов Н.В.²

¹Воронежская государственная академия спорта, г. Воронеж, Россия

²Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, Россия
fedor.vp@mail.ru, episheva65@mail.ru

В предшествующих публикациях по рассматриваемой проблеме показано, что малые дозы ионизирующего излучения вызывали у пострадавших пограничные церебральные нарушения, приводящих к психоневрологическим заболеваниям, снижению работоспособности и преждевременному старению. Высокая медико-социальная значимость пограничных изменений состояния здоровья облученных лиц вызывает необходимость изучения в головном мозге соответствующих нейроморфологических эквивалентов.

В радиобиологическом эксперименте, выполненном на 300 белых беспородных крысах-самцах в возрасте 4 мес. с помощью нейроморфологических и гистохимических методик, а также методов математического моделирования, исследованы изменения в различных отделах головного мозга после острого и хронического облучения в суммарных дозах от 0,1 до 1,0 Гр и мощности воздействия от 0,5 до 6,6 Гр/ч на протяжении всей последующей жизни животных.

Установлено, что при всех сценариях облучения и сроках наблюдения в головном мозге преобладали различной выраженности изменения, отражающие варианты функциональной активности нейронов (покой, возбуждение, торможение). Однако в отдельные доза-временные интервалы изменения приобретали пограничный характер, когда они уже не являлись нормой, но в то же время еще и не являлись патологией. Хотя такие изменения в большинстве случаев являются обратимыми, их наличие свидетельствует о нестабильности структурно-функциональной организации нервных клеток и их функциональной недостаточности. Количество нервных клеток с альтеративными изменениями увеличивалось только в конце пострadiационного периода, но они не формировали локальных очагов дегенерации и статистически значимо не обедняли нейронную популяцию. Не выявлено и статистически значимых изменений состояния энергетического, белкового и сопряженного с ним нуклеинового обмена нейронов. В целом традиционные методы нейроморфологических и статистических исследований не смогли однозначно оценить роль малых радиационных воздействий в поражении нейронов головного мозга, так как оно зависит не только от дозы облучения, но и от продолжительности пострadiационного периода. В экспериментах на полную продолжительность жизни животных время, прошедшее после облучения, может существенно изменять радиационно-индуцированные эффекты, так как нейроны головного мозга с возрастом подвергаются существенной структурно-функциональной перестройке. В то же время математическое моделирование полученных результатов с помощью регрессионного анализа показало, что большинство нейроморфологических показателей состояния нейронов демонстрировали достаточно выраженный отклик на радиационное воздействие, но с течением времени изменения репарировались. Вместе с тем, в течение какого-то времени всегда оставалась нерепарируемая и, возможно, способная к накоплению часть повреждений, что приводило к их стохастическим экстремумам в отдельных доза-временных интервалах. Вполне логично считать, что увеличение дозы радиационного воздействия приведет к стойким и необратимым последствиям.

Таким образом, анализ функций уравнений регрессии свидетельствует о наличии отклика у ряда показателей состояния нейронов при рассматриваемых дозах радиационного воздействия. Отмеченные флуктуации нейроморфологических показателей, хотя и имели нелинейный стохастический характер, свидетельствуют об определенной нестабильности структурной организации нервных клеток и напряженности их функционирования. Эти изменения могут служить материальным субстратом нарушения деятельности нервной системы.

СТРУКТУРА СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ Г. ОЗЕРСКА ЗА ПЕРИОД 1948-2013 ГГ.

Царева Ю.В., Окатенко П.В., Ткачева И.И.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия

tsareva@subi.su

Смертность трудоспособного населения является наиболее актуальной проблемой, указывающей на необходимость оценки демографических и социально-экономических потерь. В последние годы смертность населения всего мира в целом, и в Российской Федерации в частности, возросла. За период 1990-2019 гг. общая смертность населения в Российской Федерации увеличилась на 9,5 %.

Город Озерск – это первый в России закрытый город, возникший более 70 лет назад в связи со строительством и пуском в эксплуатацию ядерного комплекса ПО «Маяк». Ранее сотрудниками Южно-Уральского института биофизики (ЮУрИБФ) был проведен анализ интенсивных и экстенсивных показателей смертности населения г. Озерска за 1948-1997 гг. В данной работе анализируется структура смертности населения г. Озерска в период 1948-2013 гг.

Первое место в структуре смертности среди жителей г. Озерска за исследуемый период занимали болезни системы кровообращения. Последующие места в убывающем порядке принадлежали злокачественным новообразованиям, травмам и отравлениям, болезням органов пищеварения, болезням органов дыхания, инфекционным и паразитарным болезням, психическим расстройствам. На перечисленные классы болезней приходилось 92,8 % от всех случаев смерти.

Структура смертности среди мужчин и женщин практически не отличалась. Следует отметить лишь факт, что женщины чаще умирали от болезней системы кровообращения, чем мужчины. Среди мужчин достоверно преобладали внешние причины смерти, а также существенную роль играли психические заболевания.

В первые годы существования г. Озерска среди мужчин существенное значение имели такие заболевания как травмы и отравления, инфекционные и паразитарные болезни, а также болезни органов кровообращения. Среди женщин в первое десятилетие существования города наряду с инфекционными и паразитарными болезнями имели значение болезни органов кровообращения и злокачественные новообразования.

С 1960 г. у женщин и с 1970 г. у мужчин болезни системы кровообращения вышли на первое место и составляли более 30 % всех причин смерти до конца периода наблюдения.

Злокачественные новообразования с 1960 г. как среди мужчин, так и среди женщин занимали второе место и составляли около 20 % от всех причин смерти. Третье место у лиц обоего пола занимали внешние причины смерти, при этом у мужчин этот показатель составлял около 30 % в период 1948-1969 гг. и снижался на протяжении всего наблюдаемого периода до 10,8 %. Среди женщин данный показатель составлял около 9 % в первые годы, и снизился до 3,7 % в конце периода наблюдения.

Подобные изменения среди основных классов болезней в структуре смертности населения за наблюдаемый период можно связать с неблагоприятными социальными условиями жизни в первые годы существования города, ухудшением условий жизни населения в 90-е годы, а также со старением населения к концу изучаемого периода.

Это лишь первый этап работы по анализу смертности населения г. Озерска. В дальнейшем будут проанализированы показатели смертности с учетом различных источников информации о смерти. Кроме того, планируется более детально изучить показатели смертности среди групп населения, подвергавшихся профессиональному радиационному воздействию.

КЛИНИЧЕСКИЙ СТАТУС И ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У КУР НА ФОНЕ ОСТРОГО РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ

Югатова Н.Ю., Васильев Р.О., Назарова М.Д.

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,
г. Санкт-Петербург, Россия
makrinova.73@mail.ru

Ведение сельского хозяйства на загрязненных радиоактивными веществами территориях, сопряжено с проблемой получения продукции, отвечающей требованиям радиационной безопасности, согласно ветеринарно-санитарной экспертизе, как одного из определяющих факторов санитарной оценки продукта по его радиоактивной загрязненности. Пребывание животных на зараженной местности может привести к радиационному заражению различной степени. Таким образом, решение проблемы оптимального использования животных и птицы, а также получаемой от них продукции зависит от своевременной постановки диагноза на основании клинико-гематологических исследований. Наиболее перспективной и интенсивно развивающейся отраслью в животноводстве является птицеводство. По выращиванию кур Северо-Западный регион является одним из ведущих в данном направлении. Учитывая данный фактор, целью нашего исследования стали изучение и анализ клинических и гематологических особенностей развития острого радиационного поражения у кур.

Нами было сформировано 5 групп птиц по 6 особей в каждой: группа интактных животных и 4 группы опытных животных, Исследование проведено на курах Ленинградской ситцевой породы, относящейся к категории кросс, мясо-яичного направления в возрасте 12-14 месяцев. Кур содержали в клетках по 6 штук. Кормление птицы осуществляли полнорационным комбикормом ПК-1, доступ к воде был свободный.

Птиц опытных группы подвергали внешнему облучению гамма-излучения, с использованием источника ^{137}Cs на установке «ИГУР-1», с мощностью дозы 0,99 Гр/мин. Таким образом, поглощенная доза у птицы 1-ой опытной группы составила 7 Гр, 2-ой опытной группы – 9 Гр, 3-ей группы – 11 Гр и у 4-ой группы – 13 Гр, что смоделировало острую лучевую болезнь средней, тяжелой и крайне-тяжелой степени тяжести. За животными было установлено ежедневное наблюдение в течение месяца, включающее осмотр, термометрию, определение массы тела, оценку клинических признаков. В течение эксперимента проводился отбор крови на 1-е, 2-е, 3-и и 15-е сутки эксперимента.

У облученных птиц в первые часы и в течение суток после воздействия радиационного фактора в дозах 11 Гр и 13 Гр регистрировали гиперемии гребешка и кожного покрова в местах отсутствия перьев (область спины). Состояние угнетенное. Резкое снижение поедаемости корма. У птиц в дозе 13 Гр отмечали кровоизлияния в области кожи головы, развитие диареи с примесью крови. У птиц всех групп прекратилась яйценоскость.

На вторые сутки после облучения регистрировали гибель птицы, при этом в 1-й группе наблюдали падеж 16 % птиц, во 2-й и 3-й группах пало 50 % от числа облучаемых особей, а в 4-й данный показатель достиг 100 %. На 3-4-е сутки наступил латентный период, характеризовавшийся нормализацией общего состояния, продолжавшийся в среднем 5-6 суток.

Период разгара характеризовался угнетением, птицы сидели с закрытыми глазами, опустив шею, отмечалось дрожание гребешка и сережек, отмечался отказ от корма. Период выраженных клинических признаков характеризовался эпиляцией пуха и пера, на безперьевых участках кожи отмечали различного вида кровоизлияния. В этот период отмечали гибель 83 % особей 2-й и 3-й групп. К концу наблюдений выживаемость птиц 1-й группы составила 50 %.

Изменения в крови кур напрямую зависели от дозы. В первую очередь отмечали изменения в содержании лейкоцитов. Их количество снизилось в первую очередь. Так, у птиц 1-й и 2-й групп число лейкоцитов снизилось на 25-45 %, в 3-й и 4-й группах исследуемый показатель уменьшился до 80 %. Аналогичная тенденция отмечалась и с содержанием эритроцитов. Продуктивность у выживших животных восстановилась на 25-28 сутки после облучения.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ АКТИВНОСТИ I РЕТРОТРАНСПОЗОНОВ НА РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЖЕНСКОГО ПОТОМСТВА *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Юшкова Е.А.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия
ushkova@ib.komisc.ru

Репродуктивный потенциал организмов генетически детерминирован, а его уровень зависит от влияния факторов окружающей среды, в частности, радиации. Мобильные генетические элементы (МГЭ) вызывают нестабильность генома за счет своей способности к внутригеномным перемещениям. При определенных условиях скрещивания повышенная транспозиционная активность может привести к повреждениям ДНК, мутациям, влияя, таким образом, на нормальный ход развития половых желез. Конечным результатом таких транспозиций МГЭ является появление в популяции стерильных особей. Экспериментальные данные также показали, что некоторые МГЭ чувствительны к радиационному воздействию.

I ретротранспозоны широко распространены в популяциях *D. melanogaster*, используя репликативный механизм перемещения, имеют высокую инсерционную способность с частотой 19,5 %. Они, также как *LINE1* ретротранспозоны человека, являются источниками внутри- и межиндивидуального разнообразия, а также ответных реакций на действие факторов внутренней и внешней среды. Цель настоящего исследования заключается в оценке влияния радиационно-индуцированной активности I элементов на репродуктивный потенциал женского потомства *D. melanogaster*.

Получение особей с функциональными I ретротранспозонами было проведено путем скрещивания между самками линий *Cha* и *JA*, не имеющими активных I-последовательностей, и самцами линий *CS* и w^{1118} , которые содержат активные I элементы. Контролем служили реципрокные (недисгенные) скрещивания ♂♂*Cha* × ♀♀*CS* (*Cha[CS]*) и ♂♂*JA* × ♀♀ w^{1118} (*JA[w¹¹¹⁸]*). Варианты дисгенных скрещиваний обозначены как *CS[Cha]* (♂♂*CS* × ♀♀*Cha*) и $w^{1118}[JA]$ (♂♂ w^{1118} × ♀♀*JA*) соответственно. Опытные варианты содержали в условиях острого облучения в дозах 1-100 Гр. Облучению подвергали родительские формы, как в режиме одновременного воздействия на оба пола, так и по отдельности. Острое облучение проводили на установке «Исследователь» (^{137}Cs , мощность дозы 0,75 Гр/мин) (Россия). Контрольные и облученные варианты поддерживали в идентичных условиях (при температуре $22 \pm 0,1$ °C, режиме освещения 12 ч/сут и стандартном корме).

Полученные данные свидетельствуют о высокой нестабильности I ретротранспозонов у дисгенных особей (*CS[Cha]* и $w^{1118}[JA]$) и умеренной активности в контрольных вариантах (*Cha[CS]* и *JA[w¹¹¹⁸]*). Облучение усиливает дестабилизацию генома в обоих случаях. В норме (без облучения) функционально-активные I ретротранспозоны, вызывая повреждения клеток, угрожают репродуктивной способности и жизнеспособности потомства. Несмотря на серьезные нарушения репродуктивных функций, женское потомство в условиях острого облучения проявляет соматическое долголетие посредством механизмов регуляции I элементов, унаследованные исключительно от отцов. Эти результаты позволяют раскрыть особенности радиационно-индуцированного поведения I ретротранспозонов и их влияние на выживаемость в условиях сильного радиационного стресса.

Работа выполнена по теме исследования «Генетические и функциональные исследования эффектов геронпротекторных интервенций на модели *D. melanogaster*» (№ 12204060022-1).

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ОТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ

Вишневецкая Т.В., Цыпленкова М.Ю., Исубакова Д.С., Цымбал О.С.,
Мильто И.В., Тахауов Р.М.

Северский биофизический научный центр ФМБА России, г. Северск, Россия
mail@sbrс.seversk.ru

Изучение воздействия ионизирующего излучения на организм человека является одним из перспективных направлений радиобиологии. В качестве наиболее распространённого биоиндикатора последствий лучевого воздействия используется метод оценки хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови человека. Кроме этого, одним из важных аспектов действия ионизирующего излучения на биологические объекты является дозозависимое повреждение ядерного генома клеток.

Цель работы – определить зависимость частоты хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови человека от дозы облучения.

В исследование участвовали 10 условно здоровых мужчин в возрасте 20-34 лет, профессиональная деятельность которых не связана с воздействием ионизирующего излучения. Образцы венозной крови доноров разделяли на 2 группы – группа исследования (облучённые образцы) и контрольная группа (необлучённые образцы, 0 Гр). Облучение цельной венозной крови в группе исследования осуществляли *in vitro* γ -излучением ^{60}Co в разных дозах: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2 и 1,5 Гр. Далее образцы крови доноров контрольной группы и группы исследования культивировали, а затем использовали для проведения цитогенетического анализа. Изучали метафазные хромосомы, окрашенные красителем Гимзы (число проанализированных метафазных пластинок – не менее 300). При исследовании учитывали цитогенетические нарушения, распознаваемые без кариотипирования: хромосомные (парные) и хроматидные (непарные) фрагменты, кольцевые и дицентрические хромосомы, мультиабберрантные клетки, хроматидные обмены и полиплоидные клетки. После облучения в дозе 0,05 Гр наблюдали повышение количества абберрантных клеток. Повышение частоты дицентрических хромосом отмечали после облучения в дозе 0,2 Гр ($p < 0,05$). После облучения клеток *in vitro* в дозе 0,8 Гр была повышена частота хроматидных и хромосомных фрагментов, а также частота кольцевых хромосом. В диапазоне доз 0-1,5 Гр не наблюдали изменения частоты мультиабберрантных клеток, хроматидных обменов и полиплоидных клеток.

Проведённое исследование подтверждает зависимость частоты цитогенетических нарушений от дозы облучения ионизирующим излучением и показывает, что проявление действия последнего индивидуально и высоковариабельно, что является проявлением наличия такого биологического явления, как индивидуальная радиочувствительность.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 56.003.21.2.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГСК ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА МОДЕЛИ КСЕНОТРАНСПЛАНТАЦИИ ИММУНОДЕФИЦИТНЫМ МЫШАМ

Атаманюк Н.И.^{1,2}, Пряхин Е.А.¹

¹ФГБУН Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
г. Челябинск, Россия

²Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия
vita_pulhra@mail.ru

Оценка персонифицированной радиочувствительности является важной задачей для целей радиационной защиты профессионалов и для минимизации развития радиационно-индуцированных осложнений со стороны здоровых тканей при лучевой терапии. Целью работы является разработка технологии оценки персонифицированной реакции гемопоэтических стволовых клеток человека на облучение на основе их ксенотрансплантации иммунодефицитным мышам.

Повреждение гемопоэтических стволовых клеток (ГСК) и успех их восстановления играет критическую роль в развитии детерминированных тканевых эффектов как острого, так и хронического облучения, а также, вероятно, имеет значение для развития отдаленных неблагоприятных последствий облучения. Возможными предикторами радиочувствительности ГСК на тканевом уровне могут быть количество и кинетика радиационно-индуцированной гибели и восстановления ГСК, а также кинетика опустошения и восстановления костного мозга.

В работе получали гуманизированных мышей NOD SCID путем трансплантации ГСК для экспериментальной оценки реакции ГСК на облучение в двух моделях: 1) внутривенная трансплантация ГСК пуповинной крови с длительным приживлением клеток в течение 9 недель после введения, облучение животных через 9 недель в дозах 0,5 Гр, 1 Гр и 1,5 Гр и анализ показателей ГСК на 3 и 14 сутки после облучения; 2) трансплантация ГСК периферической или пуповинной крови в костномозговой канал бедренной кости, облучение сразу после введения ГСК в дозах 0,5 Гр, 1 Гр и 1,5 Гр, анализ числа ГСК на 3 и 14 сутки.

Описана дозозависимая гибель ГСК человека и их последующее восстановление. Выявлена экспоненциальная зависимость выживаемости ГСК на 3 сутки после облучения от дозы в обеих моделях. Полученные зависимости не отличались друг от друга и дали близкие значения D_0 для ГСК человека (0,93-1,19 Гр), что совпадает с литературными данными и указывает на пригодность моделей для оценки реакции ГСК человека на облучение.

На 14 сутки после облучения описана линейная зависимость относительного количества ГСК и лейкоцитарных CD45⁺-клеток человека от дозы облучения. Отмечены индивидуальные особенности активности восстановления числа ГСК и CD45⁺-клеток человека: у одних доноров происходило восстановление исходного числа клеток, у других их количество оставалось сниженным. Отличалось у разных доноров и относительная доля ГСК среди всех человеческих клеток. Численное изменение ГСК и созревающих кроветворных клеток после облучения предложено отразить в интегральном коэффициенте, равном отношению доли ГСК от всех лейкоцитарных клеток человека на 14 сутки после облучения к этому показателю на 3 сутки после облучения ($K_{14/3}$). Коэффициент отражает как радиационно-индуцированную гибель стволовых клеток, так и успешность их пролиферации и дифференцировки после облучения. У гуманизированных мышей этот коэффициент имел обратную линейную зависимость от дозы, что позволяет использовать его для оценки выраженности реакции на облучение.

Кроме того, коэффициент $K_{14/3}$ показал более высокие значения у мышей линии C57Bl/6 по сравнению с радиочувствительными мышами линии NOD SCID, а также повышался у гуманизированных мышей NOD SCID при использовании радиопротекторного средства цистеамина по сравнению с мышами, гуманизированными клетками того же донора, но не получавшими цистеамина до облучения. Сделан вывод о том, что более высокие значения $K_{14/3}$ ассоциированы с более высокой радиорезистентностью ГСК.

АНАЛИЗ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ ДРОЖЖЕЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УСКОРЕННЫМИ ПРОТОНАМИ

Колтова Н.А.¹, Жучкина Н.И.¹, Кокорева А.Н.¹, Жукова Е.А.², Христова Р.³, Господинов А.³

¹Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

²ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

³Институт молекулярной биологии БАН, г. София, Болгария

koltovaya@jinr.ru

В условиях космического полета космонавты подвержены стрессу, в т. ч., облучению протонами и тяжелыми ионами. Для сохранения физической формы им рекомендовано принимать пробиотики, поддерживающие микробиом космонавта. Хранящиеся в условиях полета пробиотические препараты также подвержены облучению. Представляет интерес вопрос, как будут изменяться со временем свойства пробиотиков. Эта же проблема стоит и при изучении эволюции микробиома космической станции.

В Лаборатории радиационной генетики ОИЯИ (Дубна, Россия) совместно с ИМБ (София, Болгария) и ИМБП РАН (Москва, Россия) в рамках межинститутских Соглашений исследуются свойства пробиотических штаммов дрожжей. В разработке находятся три дрожжевых штамма, из которых один хорошо изученный лабораторный диплоидный *Saccharomyces cerevisiae* и два пробиотических *Saccharomyces boulardii*, выделенные из коммерческих препаратов «Enterol» (Biocodex, France) и «Cosm-o-tentic» (Putramos, Belgium). Проведен сравнительный анализ используемых штаммов. Для сравнения нуклеотидной последовательности геномов применяли ПЦР-амплификацию интронов (у дрожжей 225 генов содержат интроны), при этом праймерами служили консервативные пограничные интрон-экзонные участки. Последующий электрофоретический анализ выявил отличия в длине интронов, что свидетельствует о существовании различий в геномах всех трех штаммов дрожжей. Тест на чувствительность к антибиотикам с помощью дисков продемонстрировал также различия в спектре антибиотикорезистентности между тремя штаммами. Для оценки мутационного процесса были отобраны антибиотики, к которым штаммы проявляли чувствительность и для них определена минимальная ингибирующая концентрация (МИК). Проточная цитометрия показала, что коммерческие штаммы отличаются по плоидности – один из них диплоидный, а второй – тетраплоидный. Анализ уровня активных форм кислорода (АФК) с помощью специализированных флуоресцентных красителей показал, что у пробиотических штаммов низкий уровень внутриклеточных АФК, при этом средние значения интенсивности автофлуоресценции ниже, чем у лабораторного штамма. При обработке перекисью водорода у пробиотических штаммов уровень окислителя в цитоплазме (H_2 DCFDA) и митохондриях (DHR123) превышал таковой у лабораторного штамма, что свидетельствует об изменении проницаемости мембран у пробиотиков. Действительно, при секвенировании генома Sb-Biocodex (Khatri et al., 2017) выявили отсутствие двух генов *VTH1* и *VTH2*, кодирующих мембранные гликопротеины, нуль-мутанты которых проявляли повышенную чувствительность к окислительному стрессу (Brown et al., 2006).

Для анализа радиочувствительности использовали две формы культур – делящиеся и лиофилизированные. Лيوфилизаты были получены из чистых клонированных культур. Облучение производили на фазатроне ЛЯП ОИЯИ (энергия 150 МэВ, линейная передача энергии 0,54 кэВ). Облучение протонами в дозах до 20 Гр показало, что у делящихся культур наиболее радиочувствительным является лабораторный диплоидный штамм, у пробиотиков выживаемость была на уровне 100 %, а у лиофилизированных культур лабораторный штамм был наиболее радиорезистентным. При этом наблюдалась низкая частота митохондриальных и ядерных мутаций антибиотикорезистентности и она слабо возрастала с дозой облучения в соответствии с полиплоидностью штаммов. Дополнительной характеристикой может служить изменение чувствительности к антибиотикам у облученных культур, определяемая с помощью дисков с антибиотиками. В дальнейшем планируется тестировать изменения пробиотических характеристик дрожжей при облучении.

РОЛЬ ИСХОДНОГО КОНФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ И РЕАКТИВНОСТИ ХРОМАТИНА В РЕАЛИЗАЦИИ КЛЕТОЧНОЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Иванов К.Ю., Никанорова Е.А., Паточка Г.Л., Нагиба В.И., Варганова И.А., Медведев Я.И.
Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, г. Саров, Россия
gane@orb2.vniief.ru

Количество повреждений ДНК после облучения в тестирующей дозе является наиболее объективным критерием клеточной радиочувствительности. При этом плотность упаковки ДНК в хроматин во многом определяет степень повреждения генетического аппарата клеток. Метод аномальной временной зависимости вязкости (АВЗВ) позволяет изучать конформационное состояние хроматина. Метод также может быть использован для оценки реактивности хроматина. Это дает возможность применить известные подходы к анализу индивидуальной радиочувствительности на клеточном уровне.

Цель работы: оценить значимость исходного конформационного состояния и реактивности хроматина при анализе клеточной радиочувствительности.

Эксперименты выполнены на клетках крови белых беспородных крыс (32 животных) при облучении *in vitro*. Для каждого животного методом АВЗВ определяли исходное конформационное состояние и реактивность хроматина в лимфоцитах крови по реакции на тепловой шок – выдерживанию образцов крови при 46 °С в течение 30 мин. Образцы крови подвергали действию гамма-излучения ⁶⁰Со в дозе 3,0 Гр при мощности дозы 1,0 Гр/мин. Уровень радиационно-индуцированных повреждений ДНК в лимфоцитах крови оценивали методом «ДНК-комет».

В группе животных в целом облучение приводило к статистически значимому увеличению количества повреждений ДНК относительно исходного уровня. В течение первых 30 мин, после облучения в лимфоцитах происходило снижение количества повреждений ДНК, но их уровень по-прежнему достоверно превышал исходный.

При оценке информативной значимости показателей метода АВЗВ проанализированы корреляционные зависимости уровня радиационно-индуцированных повреждений ДНК от конформационного состояния и реактивности хроматина до облучения. Дополнительно проведено сравнение величины радиационного эффекта в группах с различным исходным состоянием хроматина и в группах с различной его реактивностью на тепловой шок. В основу формирования групп сравнения положено соотношение индивидуальных значений показателя метода АВЗВ к среднему для группы в целом, при котором животные со значением показателя от $M-0,67s$ до $M+0,67s$ попадали в среднюю группу, где M – среднее значение для группы в целом, а s – стандартное отклонение. Значения показателя ниже или выше указанного интервала являлись критериями, на основании которого были сформированы нижняя и верхняя группы.

Корреляционный анализ не выявил зависимости уровня радиационно-индуцированных повреждений ДНК от конформационного состояния хроматина до облучения. Различие в величине радиационного эффекта между группами животных с различным исходным конформационным состоянием хроматина было недостоверным.

Сразу после облучения между уровнем повреждений ДНК в лимфоцитах и исходной реактивностью хроматина на тепловой шок установлена достоверная положительная корреляционная зависимость ($r = 0,37$; $p = 0,032$). Между группами животных с различной исходной реактивностью хроматина выявлено статистически значимое различие в величине радиационного эффекта, которое сохраняло свою статистическую значимость через 30 мин после воздействия. При этом облучение приводило к образованию наибольшего количества повреждений ДНК в группе животных с исходной гиперреакцией хроматина на тепловой шок.

Исходная гиперреакция хроматина на тепловой шок, определенная методом АВЗВ, обуславливает высокий уровень радиационно-индуцированных повреждений ДНК и является критерием повышенной клеточной радиочувствительности.

ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗИ ОДНОНУКЛЕОТИДНЫХ ПОЛИМОРФИЗМОВ ГЕНОВ КЛЕТОЧНОГО ЦИКЛА С ЧАСТОТОЙ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ПРИ ДОЛГОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Исубакова Д.С.¹, Цымбал О.С.¹, Усова Т.В.¹, Цыпленкова М.Ю.¹,
Литвяков Н.В.^{1,2}, Мильто И.В.^{1,3}, Тахауов Р.М.^{1,3}

¹Северский биофизический научный центр ФМБА России, г. Северск, Россия

²НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН, г. Томск, Россия

³Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Томск, Россия
isubakova.daria@yandex.ru

Генотоксические действие ионизирующего излучения (ИИ) ведёт к повреждению ДНК, что инициирует различные формы гибели клеток. Радиопоражаемость клеток может быть обусловлена, в том числе, и изменением пролиферации клеток. Определяющую роль в регуляции пролиферации клеток играет система циклинов и циклин-зависимых киназ, которые обеспечивают координацию процессов при прохождении клеточного цикла. Цель работы – оценить связь однонуклеотидных полиморфизмов (ОНП) генов клеточного цикла с повышенной частотой ХА, возникших у персонала объекта использования ионизирующего излучения, подвергавшихся профессиональному хроническому радиационному воздействию низкой интенсивности.

Объектом исследования служила кровь 291 человека, подвергавшегося долговременному техногенному радиационному воздействию (γ -излучение) в дозах от 100 до 500 мЗв. Для постановки исследования использовали совокупность приёмов генотипирования на ДНК-чипах, генотипирования с помощью ПЦР в режиме реального времени и рутинного цитогенетического анализа лимфоцитов крови. Были изучены 248 ОНП генов клеточного цикла. Анализ данных проводили по рецессивной модели, которая выбрана согласно информационному критерию Акаике. Для оценки статистической значимости применяли непараметрический критерий Манна – Уитни.

На первом этапе проведено широкогеномное исследование ассоциации 248 ОНП с высокой частотой ХА у 67 человек, подвергавшихся в ходе профессиональной деятельности облучению ИИ (медиана дозы 200,07 мЗв, интерквартильный размах – 147,81-260,87 мЗв). Затем проведена оценка ассоциации высокой частоты радиационно-индуцированных ХА в зависимости от ОНП исследованных генов клеточного цикла. Из всех изученных ОНП ассоциация с повышенной частотой дицентрических и кольцевых хромосом установлена для 15 ОНП. На втором этапе проводили валидацию выявленных 15 ОНП. Материалом служила кровь 224 человек, подвергавшихся в ходе профессиональной деятельности облучению ИИ (медиана дозы 210,23 мЗв, интерквартильный размах – 153,06-324,82 мЗв), а также контрольная группа людей, не подвергавшихся радиационному воздействию ($n = 77$). Валидация на этой выборке позволит подтвердить связь конкретных ОНП с индукцией дицентрических, кольцевых хромосом или других типов ХА в этом дозовом диапазоне. У людей контрольной группы во всех случаях не показано ассоциаций с высокой частотой ХА. Установлена связь с повышенной частотой индукции кольцевых и дицентрических хромосом для *CCNYL1* (*rs9636269*), все остальные типы ХА не показали статистической значимости. Назначение циклина, кодируемого геном *CCNYL1* в первую очередь основано на его структурном сходстве с другими известными циклинами, однако его функция плохо изучена. Носители рецессивного генотипа по ОНП *CCNYL1* (*rs9636269*) имели частоту кольцевых и дицентрических хромосом в 4 раза выше в сравнении с носителями доминантного генотипа при относительно одинаковых дозах внешнего облучения ИИ. Одной из причин более высокой частоты кольцевых и дицентрических хромосом у изученного контингента, является долговременное техногенное профессиональное облучение ИИ. Таким образом, был идентифицирован ОНП *CCNYL1* (*rs9636269*), который может быть ответственным за реализацию повышенной индивидуальной радиочувствительности соматических клеток человека.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 388-00162-22-00.

ПОВЫШЕНИЕ РАДИОУСТОЙЧИВОСТИ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ОДНОВРЕМЕННОЙ СВЕРХЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ *GPX3* И *SOD3*

Расова Е.Е., Тавлеева М.М., Белых Е.С., Рыбак А.В.,
Черных А.А., Исмаилов З.Б., Велегжанинов И.О.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия
elrasova@mail.ru

Окислительный стресс является одним из основных видов клеточного стресса, определяющий развитие и прогрессирование многих заболеваний, таких как онкологические, сердечно-сосудистые, нейродегенеративные, а также синдром полиорганной недостаточности и болезней обмена веществ. В связи с этим разработка подходов к регуляции антиоксидантных систем клетки представляет большой интерес для предотвращения негативных последствий окислительного стресса, вызванного эндогенными и экзогенными факторами. Одним из наиболее перспективных подходов в данной области является транскрипционная регуляция клеточной стрессоустойчивости посредством сверхактивации генов антиоксидантной защиты в рациональных комбинациях. Данный подход приобрел особую актуальность в последние годы в связи с быстрым развитием технологий регуляции экспрессии генов в клетках CRISPRi и CRISPRa. Технология CRISPRa позволяет одновременно сверхактивировать комбинации собственных генов клетки, сохраняя естественную регуляцию и не нарушая хромосомный контекст. Нами были систематизированы результаты 166 исследований, в которых оценивались эффекты увеличения экспрессии генов антиоксидантной защиты в культурах клеток и организмах, подверженных окислительному стрессу различной природы. Комбинированная сверхактивация генов семейства *SOD* с каталазой и/или генами семейства *GPX* представляется наиболее безопасной и эффективной с позиции как повышения клеточной стрессоустойчивости, так и во избежание избыточного производства перекиси водорода в клетке, которое возможно при отдельной сверхэкспрессии супероксиддисмутазы. На основании систематического анализа литературы была выдвинута гипотеза о том, что наиболее эффективной и безопасной является комбинация сверхэкспрессии генов *GPX3* и *SOD3*.

Целью экспериментального исследования была оценка влияния сверхэкспрессии генов *SOD3* и *GPX3* на устойчивость клеток к окислительному стрессу, вызванному ионизирующим излучением и воздействием параквата. С помощью CRISPRa-технологии была осуществлена раздельная и одновременная сверхактивация генов *SOD3* и *GPX3* в клетках эмбриональной почки человека Hek293T в 843-954 и 22-36 раз соответственно. Культуры клеток на фоне сверхэкспрессии *SOD3* и *GPX3* подвергали воздействию γ -излучения в дозах 2, 3 и 5 Гр, а также параквата в концентрациях 10, 20, 30 и 40 μ M. Выживаемость клеток оценивали с помощью флуориметрического анализа цитотоксичности в микрокультурах (FMCA). Было показано, что при облучении во всех дозах выживаемость клеток с одновременной сверхэкспрессией генов *SOD3* и *GPX3* достоверно возрастала в сравнении с контрольными клетками без сверхактивации и клетками, в которых сверхактивировали лишь один из двух генов. Аналогичные изменения были отмечены при воздействии параквата во всех концентрациях: выживаемость клеток была достоверно выше в варианте с комбинированной сверхэкспрессией генов *SOD3* и *GPX3*, в сравнении с культурами клеток без сверхэкспрессии или со сверхэкспрессией одного из двух генов.

Полученный результат подтверждает нашу гипотезу об эффективности сверхэкспрессии генов антиоксидантной защиты в функционально обоснованных комбинациях. Кроме того, в совокупности с данными о преимущественно онкосупрессорном эффекте сверхэкспрессии генов *SOD3* и *GPX3* по отдельности, наши данные свидетельствуют о наличии прикладного потенциала одновременной сверхактивации данных генов.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И РАДИАЦИОННОГО АДАПТИВНОГО ОТВЕТА В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С СИНДРОМОМ ВТОРИЧНОГО ИММУННОГО ДЕФИЦИТА

Розанова О.М.¹, Смирнова Е.Н.¹, Белякова Т.А.², Стрельникова Н.С.², Косякова Н.И.³

¹ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Россия

²Физико-технический центр ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Протвино, Россия

³Больница Пущинского научного центра РАН, г. Пущино, Россия
rozanova.iteb@gmail.com

В последние годы активно исследуется клиническое применение ряда феноменов, описанных в 1980-1990 гг. при действии малых доз радиации на живые объекты. Среди этих немишенных эффектов наибольший интерес привлекают повышенная радиочувствительность в области низких доз и радиационный адаптивный ответ (РАО), который проявляется в том, что предоблучение биологических объектов в малых дозах ионизирующего излучения приводит к повышению устойчивости организма к последующему воздействию больших повреждающих доз радиации или других генотоксических агентов. РАО рассматривается не только как способ повышения общей устойчивости организмов к неблагоприятным факторам окружающей среды (космические полеты, работа на предприятиях атомной промышленности, ликвидация последствий техногенных аварий), но и как альтернативный метод защиты здоровых тканей и органов при радиотерапии злокачественных опухолей и тяжелых хронических заболеваний (сахарный диабет, иммунодефицитные состояния). Другой проблемой современной медицины является оценка индивидуальной радиочувствительности к низким и терапевтическим дозам радиации индивидуумов с иммунодефицитными состояниями, которые распространены в экологически неблагополучных регионах.

Целью работы было изучение радиочувствительности и индукции РАО при облучении цельной крови рентгеновским излучением в культуре лимфоцитов пациентов с аллергическим синдромом вторичного иммунного дефицита (СИД). В работе были исследованы 12 женщин (средний возраст 59 лет) с СИД. В контрольную группу входили 10 условно здоровых волонтеров близкого возраста. Облучение образцов цельной крови проводили рентгеновскими лучами в дозах 10 сГр или 2 Гр, а для индукции РАО сначала облучали в дозе 10 сГр, а через 5 ч – в дозе 2 Гр. Анализировали индивидуальные и средние показатели по критерию цитогенетического повреждения, оценивая частоту микроядер (МЯ) в цитохалазин-блокированных двуядерных лимфоцитах. Было обнаружено, что: 1) среднее значение спонтанного уровня цитогенетических повреждений в группе пациентов в 3,5 раза превышало таковое в контрольной группе; 2) положительная корреляция между спонтанным и радиоиндуцированным уровнем МЯ выявлена в группе с СИД, а в контрольной группе корреляция была отрицательная; 3) РАО индуцировался в лимфоцитах всех участников эксперимента, и величина РАО, которая рассчитывалась как отношение суммы % МЯ в клетках при облучении в дозах 10 сГр и 2 Гр на % МЯ в клетках при облучении 10 сГр + 2 Гр, была одинакова в обеих группах, но у пациентов с СИД наблюдали более высокую индивидуальную вариабельность значений. Полученные данные могут свидетельствовать о том, что процессы, связанные с причиной и развитием СИД не затрагивают специфические механизмы, участвующие в формировании РАО. Определение в нашей работе показателей, которые характеризуют индивидуальную генетическую нестабильность лимфоцитов человека: уровня спонтанных цитогенетических нарушений, чувствительности к низким и средним уровням окислительного стресса и тестирование по схеме АО, на наш взгляд, является полезным как для понимания участия эпигенетических механизмов, лежащих в основе иммунодефицитных состояний, так и для оценки их вклада в радиационные последствия для человека. Используемый подход представляет интерес с точки зрения развития методов персонализированной медицины.

РОЛЬ ГЕНОВ *ADAMTS1* И *THBS1* В ФОРМИРОВАНИИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО КЛЕТОЧНОГО ОТВЕТА

Савченко Р.Р.¹, Васильев С.А.¹, Фишман В.С.², Мурашкина А.А.³, Грибова О.В.⁴, Старцева Ж.А.⁴, Сухих Е.С.⁵, Вертинский А.В.^{5,6}, Сухих Л.Г.⁵, Лебедев И.Н.¹

¹НИИ медицинской генетики, Томский НИМЦ РАН, г. Томск, Россия

²ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³НИ Томский государственный университет, г. Томск, Россия

⁴НИИ онкологии, Томский НИМЦ РАН, г. Томск, Россия

⁵НИ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

⁶Томский областной онкологический диспансер, г. Томск, Россия

renata.savchenko@medgenetics.ru

Проблема генетической детерминации феномена индивидуальной радиочувствительности вызывает значительный интерес в связи с нуждами радиотерапии, профессионального отбора в атомной промышленности и космонавтике. В экспериментах, проведенных нами ранее в лимфоцитах крови, показано, что здоровые индивиды с различной радиочувствительностью характеризуются дифференциальной экспрессией генов *ADAMTS1* и *THBS1*. Данные гены кодируют белки внеклеточного матрикса, а их известные функции не связаны с радиочувствительностью. В связи с этим целью настоящего исследования являлось установление влияния дифференциальной экспрессии *ADAMTS1* и *THBS1* на формирование радиационно-индуцированного ответа соматических клеток человека на повреждение ДНК.

Для этого на клетках линии HeLa с помощью системы редактирования генома CRISPR/Cas9 и транзientной плазмидной трансфекции получены модельные системы нокаута и сверхэкспрессии генов *ADAMTS1* и *THBS1*. В полученных модельных системах проведены анализ клональной выживаемости, уровня фокусов белков репарации ДНК и частоты микроядер, а также микроматричный анализ экспрессии генов после облучения γ -излучением в диапазоне доз 2-8 Гр. Проведен анализ корреляции экспрессии изучаемых генов с уровнем фокусов белков репарации ДНК и частотой микроядер в лимфоцитах здоровых индивидов.

Показано, что клетки с нокаутом *THBS1* характеризуется снижением эффективности посева в 1,4 раза по сравнению с контрольной клеточной линией HeLa ($p < 0,05$). После облучения клетки с нокаутом *ADAMTS1* характеризовалась снижением клональной выживаемости в 1,9 раз ($p < 0,05$). Проведенные эксперименты не выявили статистически значимых различий в уровне фокусов белков репарации ДНК γ H2AX и 53BP1, однако установлено, что клеточные линии с нокаутом *ADAMTS1* и *THBS1* характеризовались повышенной частотой радиационно-индуцированных микроядер ($55,3 \pm 8,3 \%$ и $65,3 \pm 1,2 \%$ соответственно) по сравнению с контрольной клеточной линией HeLa ($36,0 \pm 7,2 \%$; $p < 0,05$). Возобновление экспрессии *ADAMTS1* и *THBS1* в клетках с нокаутом с помощью плазмидной трансфекции приводило к восстановлению фенотипа и снижению частот микроядер до $28,7 \pm 10,3 \%$ и $36,7 \pm 12,2 \%$ соответственно, что сопоставимо с частотой микроядер в контрольной клеточной линии HeLa ($36,0 \pm 7,2 \%$; $p < 0,05$). Анализ транскрипционного профиля экспрессии генов в клетках с нокаутом *ADAMTS1* и *THBS1* после облучения позволил установить, что 53 % дифференциально экспрессирующихся генов, проходящих поправку на множественность сравнения ($FDR < 0,05$), согласно данным литературы, связаны с радиочувствительностью (*GAGE7*, *LIF*, *SEPP1*, *POPDC3*, *DLG5*, *POU3F2*, *LXN*, *SMIM3*, *ALPK2*).

Эксперименты, проведенные на лимфоцитах здоровых индивидов, не выявили корреляции нормальной вариабельности экспрессии целевых генов со спонтанным уровнем фокусов белков репарации ДНК или частотой микроядер после облучения, поэтому, на сегодняшний день нет убедительных оснований рекомендовать использовать *ADAMTS1* и *THBS1* в качестве самостоятельных экспрессионных маркеров индивидуальной радиочувствительности человека. Однако, принимая во внимание данные, полученные в модельных системах, изучаемые гены могут быть интересны с точки зрения разработки таргетных ингибиторов для повышения опухолевой радиочувствительности.

СВЯЗЬ СТЕПЕНИ МЕТИЛИРОВАНИЯ ГЕНОВ И ЧАСТОТЫ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ ЛИМФОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ КРОВИ *IN VITRO*

Цымбал О.С.¹, Исубакова Д.С.¹, Брониковская Е.В.¹, Николаева А.Ф.²,

Сигин В.О.², Калинин А.И.², Литвяков Н.В.^{1,3}, Мильто И.В.^{1,4}, Тахауов Р.М.^{1,4}

¹Северский биофизический научный центр ФМБА России, г. Северск, Россия

²Медико-генетический научный центр им. акад. Н.П. Бочкова Минобрнауки России, г. Москва, Россия

³Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, г. Томск, Россия

⁴Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Томск, Россия
mail@sbrc.seversk.ru

Наиболее чувствительным биополимером при радиационном воздействии является ДНК, повреждение структуры которой приводит к различным генным, хромосомным и геномным нарушениям, проявляющимся в виде хромосомных aberrаций (ХА). Воздействие ионизирующего излучения также влияет на клеточные процессы, в частности, на процессы метилирования ДНК, которые отражаются на регуляции экспрессии генов, репликации, репарации ДНК и др.

Цель исследования – оценить ассоциацию степени метилирования ДНК и частоты ХА лимфоцитов человека после острого облучения цельной крови γ -излучением *in vitro*.

Исследование включало 10 условно здоровых человек. После острого облучения крови *in vitro* в дозах 0 Гр (контрольная группа) и 1,5 Гр (экспериментальная группа) в лимфоцитах крови оценивалась степень метилирования CpG-динуклеотидов (широкогеномное бисульфитное секвенирование, XmaI-Reduced representation bisulfite sequencing – XmaI-RRBS) и частота ХА (цитогенетическое исследование). Положительной или отрицательной корреляцией высокой силы считались значения от $\pm 0,7$ до ± 1 , в соответствии со шкалой Чеддока. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Корреляционный анализ степени метилирования генов в образцах экспериментальной группы и частоты ХА в дозе 1,5 Гр выявил 56 генов (*PPM1J*, *BCAN*, *GNPAT*, *DMBX1*, *C1orf87*, *LRRC37A6P*, *SLC16A9*, *TSPAN15*, *NPFFR1*, *ODF3*, *SMTNL1*, *STX3*, *C11orf80*, *DTX1*, *PGAM5*, *ATP11A*, *ATP12A*, *CCDC169-SOHLH2*, *HTR2A*, *PSMC1*, *FAN1*, *C2CD4A*, *CPLX3*, *ANPEP*, *CIB1*, *RHBDF1*, *TK2*, *FAM173A*, *COTL1*, *SPG7*, *MIR22HG*, *SLC25A52*, *CCDC159*, *WIZ*, *THEG5*, *MICOS13*, *CLEC4G*, *MZT2B*, *METTL21A*, *ANKMY1*, *LGALSL*, *BCL2L1*, *TXNRD2*, *SFMBT1*, *SMAD1*, *PIGG*, *CTNND2*, *FGF18*, *PAIP1*, *HACE1*, *HCG11*, *PKD1L1*, *ADCY8*, *DMRT1*, *LOC100129316*, *NUDT11*), у которых среднее значение степени метилирования положительно коррелирует с высокой частотой ХА. Степень метилирования 41 гена (*RBP7*, *CLCNKB*, *ZNF695*, *TTC39A*, *NET1*, *SIK2*, *C11orf44*, *TNKS1BP1*, *AP5B1*, *EFEMP2*, *ZNF839*, *SLC25A21*, *MPI*, *RFWD3*, *DOC2B*, *IMPA2*, *SMAD2*, *ZNF236-DT*, *VSTM2B*, *APBA3*, *PSG3*, *TMEM160*, *GAD1*, *ACSL3*, *HJURP*, *ZNF2*, *ADRA2B*, *FOXA2*, *FRG1BP*, *CHAF1B*, *AATBC*, *BID*, *PRR14L*, *SLC6A11*, *CRIPAK*, *HELT*, *SLC25A48*, *STC2*, *TCP10*, *ODF2*, *RNF224*), наоборот, отрицательно коррелирует с повышенной частотой ХА. Особый интерес представляют *NET1*, *TNKS1BP1*, *RFWD3*, поскольку эти гены принимают участие в восстановлении повреждений двухцепочечной ДНК после воздействия ионизирующего излучения.

Проведенный первичный широкогеномный скрининг генов показал, что степень метилирования генов чувствительна к воздействию ионизирующего излучения и коррелирует с высокой частотой ХА. Многие из выявленных генов могут стать потенциальными маркерами радиационного воздействия и использоваться для изучения механизмов формирования радиочувствительности организма и радиорезистентности опухолей при лучевой терапии.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 56.003.21.2.

СТРУКТУРА СУБКОЛЛЕКЦИИ ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ БАНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА СЕВЕРСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА

Цыпленкова М.Ю., Вишневецкая Т.В., Исубакова Д.С., Цымбал О.С.,

Мильто И.В., Тахауов Р.М.

Северский биофизический научный центр ФМБА России, г. Северск, Россия

mail@sbrc.seversk.ru

Научные исследования, направленные на изучение механизмов воздействия различных антропогенных факторов на геном человека требуют формирования структурированных и детально описанных выборок. Помимо этого, интенсивное развитие атомной отрасли России (введение в эксплуатацию новых производств, использование новых видов ядерного топлива и др.) способствует проведению радиобиологических исследований с целью установления влияния ионизирующего излучения на биологические объекты и совершенствования норм радиационной безопасности. В этой связи возникает необходимость создания новых и развития существующих банков биологического материала. Банк биологического материала (БМ) СБН Центре создан в 2002 г. и является структурным подразделением отдела молекулярной и клеточной радиобиологии.

Целью работы является характеристика субколлекции цельной венозной крови банка биологического материала СБН Центра.

Субколлекция цельной крови БМ СБН Центра представлена полученными от 6 150 доноров образцами цельной венозной крови, которая хранится в ультранизкотемпературных камерах (Sanuo, Япония) при -80°C и используется для проведения молекулярно-генетических и цитогенетических научно-исследовательских работ. Образцы крови БМ получены от условно здоровых работников объекта использования ионизирующего излучения (ОИИИ), условно здоровых жителей, постоянно проживающих на территории г. Северска, а также от пациентов со злокачественными новообразованиями или инфарктом миокарда.

Субколлекция цельной крови БМ СБН Центра имеет следующую структуру: условно здоровые работники ОИИИ – 57 %, жители г. Северска – 43 %, пациенты со злокачественными новообразованиями – 25 %, пациенты с инфарктом миокарда – 14 %.

БМ представляет собой уникальный информационно-исследовательский ресурс для проведения комплексных исследований в области радиобиологии, радиационной эпидемиологии, радиационной генетики и радиационной медицины. Субколлекция образцов крови БМ позволяет проводить широкомасштабные исследования по оценке медико-биологических эффектов воздействия ИИ, а также исследования по оценке радиогенного риска развития социально значимых неинфекционных заболеваний, например, злокачественных новообразований и инфаркт миокарда.

ПРОБЛЕМЫ ДОЗИМЕТРИИ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

СПОСОБ ГРАДУИРОВКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ^{125}I В ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЕ

Арефьева Д.В.¹, Фирсанов В.Б.¹, Тарита В.А.²

¹ФГБУН НИИ ПММ ФМБА России, г. Санкт-Петербург, Россия
niipmm@fmabamail.ru

²ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова
МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия
sich@arterm.spb.ru

В настоящее время в медицине интенсивно используются радиофармпрепараты на основе ^{125}I для лечения онкологических заболеваний, в том числе, методом брахитерапии при раке предстательной железы. Промышленные количества ^{125}I получают в ядерных реакторах путем облучения ксеноновых мишеней нейтронами. При изготовлении микроисточников на основе ^{125}I возможно его поступление в щитовидную железу персонала, выполняющего данные работы.

Для измерения содержания ^{125}I в щитовидной железе применяются сцинтилляционные детекторы на основе монокристалла NaI(Tl) размером 63 x 3 мм с позиционирующим устройством. Детектор регистрирует фотонное излучение, генерируемое радионуклидом ^{125}I , в результате получают аппаратный спектр данного радионуклида. Для вычисления значения активности ^{125}I необходима предварительная градуировка детекторов в геометрии измерения «щитовидная железа». Для градуировки требуется фантом щитовидной железы с известным количеством радионуклида ^{125}I . Из-за достаточно короткого периода его полураспада (59,4 суток) и специфической задачи измерения, изготовление фантома с данным радионуклидом представляется нецелесообразным. Перспективным и альтернативным с точки зрения трудоемкости и экономической эффективности вариантом решения, является разработка и применение методов математического моделирования для градуировки гамма-спектрометров, используемых при измерении содержания ^{125}I в щитовидной железе.

В работе был использован фантом щитовидной железы взрослого человека из комплекта ФЦЖ-04Т с радионуклидом ^{133}Ba , рентгеновское излучение которого сопоставимо с рентгеновским излучением радионуклида ^{125}I . Средние энергии рентгеновского излучения для радионуклидов ^{125}I и ^{133}Ba составляют 29,2 кэВ и 32,9 кэВ соответственно. Фантом представляет собой модель шеи человека, изготовленную из полиуретана (эквивалентен мягким биологическим тканям по взаимодействию с гамма-излучением в данном диапазоне энергий), с вложенными в нее двумя капсулами, соответствующими по объему долям щитовидной железы, с равномерно осажденным на ионообменной смоле радионуклидом ^{133}Ba .

Разработаны имитационная модель блока детектирования с учетом конструкторской документации и имитационная модель геометрии измерения «щитовидная железа». Градуировку спектрометра осуществляли с применением программы MСС 3D, позволяющей проводить симуляцию прохождения излучения через вещество методом Монте-Карло. Экспериментально получен аппаратный спектр от фантома щитовидной железы с известной активностью ^{133}Ba . В результате моделирования процесса переноса гамма-излучения в геометрии измерения «щитовидная железа» получена функция отклика спектрометра в виде аппаратного спектра гамма-излучения для ^{133}Ba . В области энергий 15-45 кэВ отличие экспериментального спектра от смоделированного составило 2,4 %, что говорит о приемлемости смоделированной имитационной модели блока детектирования и геометрии измерения. Для определения чувствительности регистрации активности ^{125}I в щитовидной

железе смоделирован аппаратурный спектр с учетом всех его основных гамма-линий в геометрии измерения «щитовидная железа».

Таким образом, полученные при градуировке с применением методов математического моделирования калибровочные файлы позволяют проводить расчет содержания инкорпорированного ^{125}I в щитовидной железе.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ В ДОЗИМЕТРИИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ КОСВЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Астапова А.А., Квачева Ю.Е., Поцяпун Н.П., Максимова Е.Ю., Молоканов А.А.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
fmbc@fmbamail.ru

В настоящее время в атомной отрасли проводятся работы с новыми типами ядерного топлива, что влечет за собой необходимость модернизации подходов к проведению индивидуального дозиметрического контроля персонала. В соответствии с нормативными документами индивидуальный дозиметрический контроль за облучением персонала группы А в зависимости от характера проводимых работ включает контроль за характером, динамикой и уровнями поступления радионуклидов в организм с использованием методов прямой и/или косвенной радиометрии. Методы косвенной радиометрии включают биофизическое обследование человека, состоящее в исследованиях содержания радиоактивных веществ в биосубстратах (моча, кал, мазки из носа и т. д.), и последующую интерпретацию результатов обследования в дозиметрических единицах. Биофизические обследования человека проводятся в лабораториях дозиметрии внутреннего облучения (ЛДВО) ФГБУЗ ЦГиЭ ФМБА России.

В систему ЛДВО на сегодняшний день входят 10 действующих лабораторий ФГБУЗ ЦГиЭ ФМБА России, а также соответствующие подразделения ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и ФГБУН ЮУриБФ ФМБА России.

Проведен анализ деятельности ЛДВО ФГБУЗ ЦГиЭ ФМБА России и сформулированы основные проблемные вопросы.

Нормативными документами не определен объем контроля внутреннего облучения. Вместе с тем, согласно п. 3.13.2 ОСПОРБ-99/2010 индивидуальный дозиметрический контроль проводится с целью определения годовых доз персонала и является обязательным для персонала группы А. Необходимо на административном уровне установить порядок и объем контроля лиц, направляемых на биофизическое обследование в ЛДВО.

Острым в ЛДВО является вопрос обновления приборного парка, необходимого для обеспечения ИДК внутреннего облучения в соответствии с требованиями действующих нормативных и методических документов. В первую очередь это связано с ситуацией, складывающейся с оснащением лабораторий радиометрическим оборудованием. Альфа-радиометры «Прогресс-БИО», являющиеся основными измерительными приборами в большинстве ЛДВО, отсутствуют в Госреестре СИ, данные средства измерений не могут быть поверены, и, следовательно, использованы при проведении ИДК внутреннего облучения.

Кроме того, используемое ЛДВО оборудование не обладает достаточной производительностью, что не позволяет проводить биофизическое обследование персонала обслуживаемых предприятий в полном объеме, особенно при условии их 4-кратного обследования на уран и 2-кратного на плутоний. Необходимо оснащение ЛДВО современным оборудованием, обеспечивающим требуемую производительность, исходя из планируемых объемов ИДК внутреннего облучения на конкретном предприятии.

Остается актуальным вопрос о проведении ежегодных проверок качества выполняемой ЛДВО работы путем участия в межлабораторных сличительных испытаниях (МСИ). Лаборатория в течение 5 лет с момента принятия решения об аккредитации должна принять участие в программах МСИ по всем методам испытаний, включенным в область аккредитации. На сегодняшний день в России нет официального провайдера МСИ, который предлагал бы

контрольные образцы биологического материала (матрица – моча) для определения в них суммарной альфа-активности урана, плутония и прочих необходимых радионуклидов.

Штатный состав лабораторий дозиметрии внутреннего облучения ФГБУЗ ЦГиЭ ФМБА России в 2021 г. уменьшился по сравнению с предыдущими годами и составляет 37,75 занятых единиц из 45 номинальных. Рассматривая ситуацию в целом, можно сделать вывод о том, что в ряде случаев низкая обеспеченность профессиональными кадрами не позволяет выполнять возложенные на ЛДВО функции в полном объеме.

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ СТЕПНОГОРСКОГО ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Аумаликова М.Н., Бакытжан Г., Бахтин М.М., Казымбет П.К.

Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

aumalikova.m@amu.kz

Работа направлена на комплексное изучение современных уровней облучения работников одного из первых предприятий урановой промышленности в Казахстане – Степногорского горно-химического комбината (СГХК).

Целью данной работы является оценка уровней облучения работников СГХК с использованием ретроспективных данных и результатов определения урана в биопробах.

Был проанализирован комплекс данных, полученных как при дозиметрическом контроле рабочих мест, так и при индивидуальных измерениях биопроб мочи персонала СГХК на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмы Agilent 7800. Для этого нами проанализированы архивные данные индивидуального дозиметрического контроля каждого работника с 2010 г. по 2020 г. В 54 биопробах мочи работников СГХК определили концентрацию урана.

Установлено, что дозы внешнего облучения персонала СГХК за последние 10 лет в целом не превышали предельные допустимые уровни, однако около 25 % работников двух цехов (экстракции и механической обработки) могли подвергаться значительному внутреннему облучению. Индивидуальные эффективные дозы, накопленные за 10 лет рабочего стажа не превышали 110 мЗв и у 98 % работников группы А были в пределах допустимых уровней.

Согласно исследованиям на содержание урана в моче с использованием масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, у 75 % персонала цеха экстракции и ремонтно-механического цеха концентрация урана в моче превысила среднерегиональный уровень (0,4 мкг/л), а у 15 % работников концентрация превышала 15 мкг/л, что дает основание выделить этих лиц в критическую группу.

В настоящее время в Казахстане отсутствует нормативный порог концентрации урана в моче для персонала уранодобывающих предприятий. Национальные нормы радиационной безопасности (приказ МЗ РК «Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: утв. 26.06.2019 года, № ҚР ДСМ-97») регламентируют концентрацию ^{238}U и его производных в зоне дыхания запыленных производственных помещений. Дозы внутреннего облучения рассчитываются с учетом информации о радиоактивных аэрозолях для конкретных площадок, что может привести к различной скорости поступления радионуклидов из легких в кровь.

Данные кумулятивной эффективной дозы персонала демонстрируют одинаковую скорость накопления дозы на всех площадках, но разница в перехватах указывает на несколько более высокую вероятность случайного облучения в цехе экстракции и ремонтно-механического цеха.

Полученные результаты подтверждают необходимость систематического проведения индивидуального контроля концентрации урана в моче, включив его в комплекс индивидуального дозиметрического контроля для выявления критических групп и обеспечения радиационной безопасности.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАБОЛИЗМА РАДИОАКТИВНОГО ЙОДА В ОРГАНИЗМЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА С УЧЕТОМ СОДЕРЖАНИЯ СТАБИЛЬНОГО ЙОДА В РАЦИОНЕ

Басова М.А., Козьмин Г.В., Снегирев А.С.

НИЦ «Курчатовский институт», ФГБНУ «ВНИИРАЭ», г. Обнинск, Россия
maribasova97@mail.ru

Для прогноза состояния здоровья животных и оценки поступления радиоактивных изотопов йода в молочную цепочку человека разработана камерная модель метаболизма радиойода в организме крупного рогатого скота (КРС), учитывающая содержание стабильного йода в рационе животных. Модель дает возможность оценить эффективность использования в качестве противорадиационной меры препаратов стабильного йода с целью снижения накопления изотопов йода в щитовидной железе (ЩЖ) и молоке дойных коров.

Определение кинетических параметров метаболизма радиойода у КРС проводилось на основе камерной модели, представленной на рис. 1.

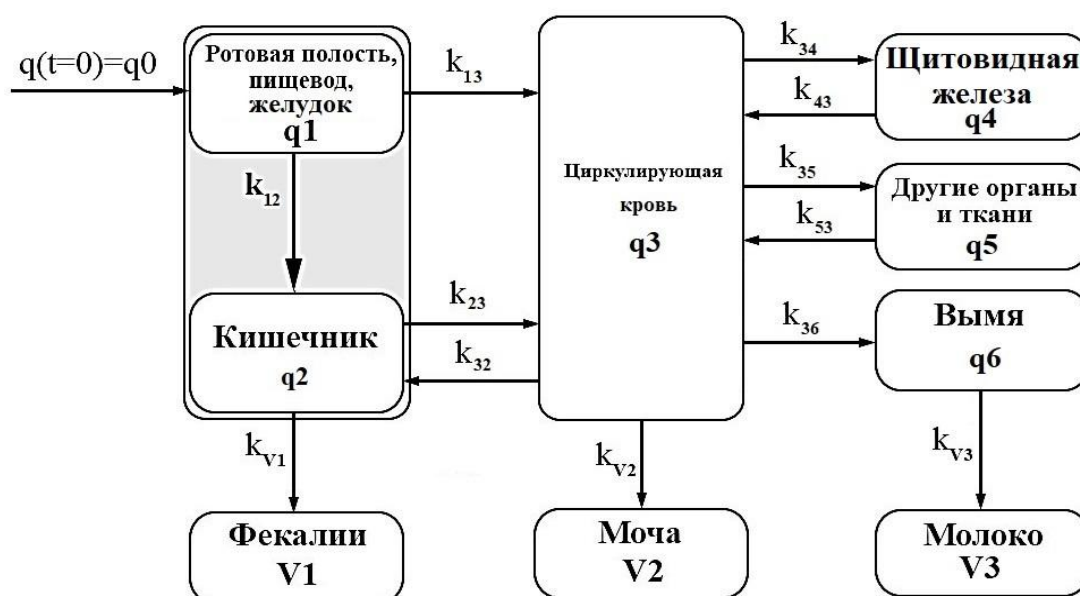


Рис. 1. Камерная модель метаболизма радионуклидов йода в организме дойных коров

С использованием опубликованных экспериментальных данных была решена обратная задача по оценке параметров перехода радиойода из крови в ЩЖ и из крови в вымя. Путем перебора значений по заданной сетке величин были найдены такие значения, при которых в йододефицитных районах ($D \leq 20$ мг/сут) накопление ^{131}I в ЩЖ превышало от 2 раз и более накопление радиойода в районах нормального содержания стабильного йода. Также путем перебора были найдены значения, при которых применение добавок стабильного йода позволяло добиться снижения содержания радиойода в ЩЖ более чем в 10 раз и снижение активности ^{131}I в молоке не менее чем в 1,3-2 раза. На основе анализа полученных результатов было принято:

$$k_{34} = \begin{cases} k_H \cdot \frac{D_H}{D}, & D \leq 20 \text{ мг/сут} \\ k_H, & 20 < D < 500 \text{ мг/сут} \\ k_H \cdot \frac{10 \cdot D_H}{D}, & D \geq 500 \text{ мг/сут} \end{cases}$$

где D – содержание стабильного йода в рационе животных, мг/сут;

$D_H = 20$ мг/сут – норма стабильного йода в рационе животных, мг/сут;

k_H – константа скорости перехода радиойода из крови в ЩЖ при $D_H = 20$ мг/сут.

Разработан алгоритм для расчета динамики содержания ^{131}I в ЩЖ и суточном удое молока КРС, в зависимости от содержания стабильного йода в рационе животных.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ РАБОТНИКОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Брагин Ю.Н., Крючков В.П., Сивенков А.Г., Цовьянов А.Г.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
braginyu@gmail.com

Для оценки эффективности деятельности служб радиационной безопасности предприятий, эксплуатирующих ядерно-энергетические установки, использован предложенный нами ранее метод классификации распределений логарифмов индивидуальных доз работников атомных электростанций (АЭС) на основе статистических и информационных характеристик распределений, соответственно, контрэкссесса (Q) и энтропийного коэффициента (K), и их представления в виде QK -диаграммы.

Материалы и методы. С использованием данных Единой системы контроля индивидуальных доз (ЕСКИД) для персонала АЭС, эксплуатирующих реакторы типа ВВЭР и БН, проведен анализ существующих распределений годовых индивидуальных доз внешнего облучения работников в 2011-2018 гг. при нормальном функционировании АЭС для всего персонала в целом, а также для тех профессий, персонал которых получал максимальные годовые индивидуальные дозовые нагрузки. Данные ЕСКИД получены из Федерального банка данных индивидуальных доз облучения персонала организаций и населения на территориях, обслуживаемых ФМБА России (ФБД ФМБА России), который создан и функционирует в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России на основании постановления Правительства Российской Федерации от 16.07.1997 № 718 «О порядке создания единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан», реализованных приказом Минздрава России от 31.12.1999 № 466 и соответствующим приказом Федерального управления «Медбиоэкстрем» от 20.12.2000 № 165з «О введении Положения о ЕСКИД и статистического наблюдения за дозами облучения персонала и населения».

Результаты. Получены отображающие точки распределений индивидуальных доз на QK -диаграмме для всего персонала отдельных АЭС, эксплуатирующих как реакторы типа ВВЭР, так и реакторы БН, а также для персонала наиболее радиационно опасных профессий. Показано, что для логарифмов индивидуальных доз присутствует три типа распределений: Гаусса, Вейбулла и типа «шапо». Гибридное логнормальное распределение, широко используемое в области радиационной безопасности для аппроксимации реальных распределений доз, не может удовлетворительно описать целый ряд распределений доз облучения персонала.

Выводы. Степень контролирования процесса накопления индивидуальных доз персоналом в целом или отдельной профессиональной группой на QK -диаграмме можно определить по величине расстояния между отображающей точкой с координатами ($Q = 0,577$; $K = 2,066$), соответствующей отсутствию контроля, и точкой, отображающей реальное распределение индивидуальных доз некоторой группы работников на QK -диаграмме. Таким образом, используя QK -диаграммы, можно строить программы управления процессом накопления индивидуальных доз применительно к существующей ситуации на радиационно опасном объекте.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ЧАСТИ ДОЗИМЕТРИИ АЛЬФА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Буздалькин К.Н.¹, Нилова Е.К.²

¹Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь

²Центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Минск, Беларусь
buzdalkin@yandex.ru

В контексте развития мирных ядерных технологий в Республике Беларусь проводится расширение национальных возможностей в области радиационной защиты. На этапе эксплуатации Белорусской АЭС совершенствуется национальная ядерная инфраструктура.

Миссия Международного агентства по атомной энергии PreOSART в августе 2019 г. по результатам проверки готовности Белорусской АЭС к ввозу свежего ядерного топлива рекомендовала организовать контроль за поступлением «чистых» альфа- и бета-излучателей в организм. Дозиметрический контроль персонала, обслуживающего ядерные установки, источники ионизирующего излучения и другие радиационные объекты, методом *in vitro* в организациях Республики Беларусь в настоящее время не проводится. «Общие процедуры медицинского реагирования при ядерной или радиологической аварийной ситуации» (IAEA-EPR-MEDICAL, Вена, 2009) включают определение доз облучения на основе анализа биологических проб *in vitro*. Серия стандартов безопасности МАГАТЭ № RS-G-1.2 «Оценка профессионального облучения в результате поступления радионуклидов» предписывает проводить анализ биологических образцов с относительно низким уровнем активности в радиохимических аналитических лабораториях, расположенных за пределами зон воздействия радиационно опасных объектов.

В рамках технического сотрудничества с МАГАТЭ национальные регуляторы (Министерство по чрезвычайным ситуациям и Министерство здравоохранения) проводят работу по обеспечению оценки доз облучения, связанных с поступлением α - и β -излучающих радионуклидов в организм, для персонала всех радиационно опасных объектов Республики Беларусь. Планируется, что МАГАТЭ в 2024-2027 гг. окажет техническую поддержку развитию ядерной инфраструктуры в целях повышения готовности к медицинскому реагированию в случаях аварийного и незапланированного облучения, связанного с поступлением в организм человека «чистых» α - и β -излучателей. Особая роль МАГАТЭ заключается в поставке α - и β -спектрометрического оборудования и химических реагентов, обучении персонала Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека (далее – Центр) проведению лабораторных измерений содержания ^{238, 239+240}Pu, ²⁴¹Am и ⁸⁹⁺⁹⁰Sr в биологических образцах *in vitro*.

Во внутреннем и внешнем аварийных планах Белорусской АЭС Центр указан как учреждение, оказывающее специализированное лечение персонала, а также пострадавших лиц из числа населения, проживающего в зоне аварийного воздействия. На базе Центра создано специализированное отделение лучевых поражений, а медицинский персонал прошел подготовку в ведущих клиниках за рубежом. Центр является частью Ситуационного кризисного центра Министерства здравоохранения Республики Беларусь и отвечает за оценку доз облучения населения и прогнозирование медицинских последствий радиационного облучения населения и персонала.

Принимая во внимание инфраструктуру радиационной защиты персонала, сложившуюся в Республике Беларусь, в целях ее совершенствования и обеспечения возможности мониторинга, а также оценки аварийных и незапланированных доз облучения, в 2021 г. Национальная комиссия по радиационной защите предложила создать в Центре лабораторию внутренней дозиметрии. В задачи этой лаборатории должны входить определение *in vitro* содержания «чистых» α - и β -излучателей в биологических образцах, оценка поступления указанных радионуклидов в организм человека, реконструкция и оценка ожидаемых аварийных и незапланированных доз облучения.

ВЕРИФИКАЦИЯ И УТОЧНЕНИЕ СКОРОСТИ ОБМЕНА ЦЕЗИЯ МЕЖДУ ПЛАЗМОЙ КРОВИ И ЭРИТРОЦИТАМИ ДЛЯ БИОКИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦЕЗИЯ ИЗ ПУБЛИКАЦИИ МКРЗ № 137

Введенский В.Э.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
vvedensky@subi.su

В настоящее время МКРЗ выпустил новую серию публикаций, условно названую «Профессиональное поглощение радионуклидов» («Occupational Intakes of Radionuclides»), включающую Публикации № 130, 134, 137 и 141, в которых описываются оценки поступления, биокинетические и дозиметрические модели, методы индивидуального мониторинга, а также базовые аспекты ретроспективных оценок доз. В Публикации № 137 представлены данные об изотопах цезия, в т.ч., информация о параметрах биокинетической модели, в частности о скорости обмена цезия между плазмой крови и эритроцитами.

Целью данной работы являлась верификация и, при необходимости, уточнение скорости обмена цезия между плазмой крови и эритроцитами для биокинетической модели цезия из Публикации МКРЗ № 137 на основе рассмотрения изменения активности цезия-137 в плазме крови и эритроцитах в зависимости от времени для 5 работников радиохимического завода ПО «Маяк», получивших ингаляционное поступление мелкодисперсного аэрозоля хлорида цезия-137. Забор крови производился в течение более полугода раз в несколько суток.

В Публикации № 137 коэффициенты переноса между плазмой крови и эритроцитами получены из наблюдаемых коэффициентов переноса для калия и сравнительных данных для калия и цезия. Коэффициент переноса калия из плазмы в эритроциты оценивались по данным нескольких экспериментальных исследований как 6 сут^{-1} (далее – сут^{-1}) (Leggett and Williams, 1986, 1988). Коэффициент переноса цезия у человека, кроликов и крыс в эритроциты примерно в 0,3 раза выше, чем калия (Love and Burch, 1953; Forth et al., 1963; Gyorgyi and Kanyar, 1973), и, таким образом, коэффициент переноса оценивался как $0,3 \cdot 6 = 1,8 \text{ сут}^{-1}$. Коэффициент переноса цезия от эритроцитов к плазме крови определяли по скорости притока цезия ($1,8 \text{ сут}^{-1}$) и равновесных долей цезия в плазме крови и эритроцитах соответственно. На основе стационарного содержания цезия в эритроцитах (в долях от содержания во всем теле), коэффициент переноса из эритроцитов в плазму был оценен как $1,8 \cdot 0,002/0,014 = 0,257 \text{ сут}^{-1}$.

Используя метод наименьших квадратов, минимизировали сумму квадратов разности модельных значений активности цезия-137 в плазме крови и эритроцитах и эмпирических данных, полученных в результате измерения активности цезия-137 в крови 5 работников радиохимического завода ПО «Маяк», имевшим ингаляционное поступление мелкодисперсного аэрозоля хлорида цезия-137. Получившиеся значения коэффициента переноса из плазмы крови в эритроциты $1,196 \pm 0,876 \text{ сут}^{-1}$ и в обратном направлении $0,232 \pm 0,160 \text{ сут}^{-1}$ согласуются с величинами, указанными в Публикации МКРЗ № 137. Несмотря на это, значения коэффициентов переноса из плазмы крови в эритроциты, полученные в результате эмпирического исследования для всех 5 работников меньше значения из Публикации МКРЗ № 137, и это обстоятельство необходимо дополнительно исследовать, например, с использованием Байесовского подхода.

ОЦЕНКА В ДИНАМИКЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛИЦ, ВКЛЮЧЕННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИСТР

Веялкин И.В., Дрозд Е.А., Никонович С.Н.

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь
veyalkin@mail.ru

В Белорусском государственном регистре лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (далее – Госрегистр), имеется ряд блоков данных, содержащих информацию об индивидуальных дозах внешнего и внутреннего облучения населения Республики Беларусь, подлежащего контролю, как подвергшегося воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС. Целью работы была оценка дозиметрических блоков Госрегистра (RegCurDoz и REGINDOZ), содержащих данные о дозах внешнего и внутреннего облучения пострадавшего населения. Материалом для исследования послужила база данных Госрегистра, содержащая информацию о 15 961 измерении дозы внешнего облучения и 534 500 значений доз внутреннего облучения, включая данные о дозах, полученных в результате рентгенодиагностических процедур. Статистический анализ данных проводился средствами анализа данных MS Excel и IBM SPSS Statistics. При сравнении данных использовали методы непараметрической статистики (критерий Манна – Уитни).

Информационный блок RegCurDoz содержит данные о годовых дозах внешнего облучения. Анализ распределения доз внешнего облучения с 1986 по 2019 гг. показал, что максимальное количество доз отмечается у ликвидаторов (ГПУ1) в 1986 г., в этой же группе отмечается и наиболее высокие значения доз внешнего облучения 57,0 [20,0; 95,23] мЗв. Со временем величина медианы у ликвидаторов снижается до 11,5 [3,78; 20,0] мЗв в 1989 г. В остальных ГПУ количество доз единично. Количество доз в Госрегистре начинает увеличиваться, начиная с 1990 г. При этом медианы доз после 1995 г. не превышали значения 0,2 мЗв, за исключением парадоксальных значений в 6 мЗв в ГПУ1 и ГПУ2 в 2000-2004 гг., что возможно связано с некорректным внесением данных. При исключении этих показателей медиана дозы в этой группе составляет 0,02 [0,01; 0,02] мЗв. Доля доз, рассчитанных из средних по населенному пункту для данной возрастной группы составляла порядка 1 % для ликвидаторов и была максимальна в ГПУ3 и ГПУ4, достигая, соответственно, 27 и 39 % в 2000-2004 гг. У ликвидаторов в первые 5 лет после аварии на Чернобыльской АЭС доля доз, рассчитанных на основе прямых измерений достигала 80 % (5 371 измерение). В 1986 и 1987 гг. дозы, полученные на основе прямых измерений, отличались от индивидуализированных 59,0 [21,0; 100,0] против 47,3 [18,8; 88,9] в 1986 г. и 19,55 [12,3; 27,0] против 15,1 [11,7; 20,0] в 1987 г. В 1988 г. значимых различий не отмечали (8,2 [6,7; 22,9] против 8,2 [6,2; 24,15]).

Дозиметрический блок REGINDOZ содержит 534 500 значений доз облучения (внутреннего облучения – 318 701 значение и 215 799 значений доз полученных в результате рентгеновских исследований) за период с 1986 по 2019 гг. Медианы доз внутреннего облучения не превышают в основном значения 0,1 мЗв, максимальные значения отмечали лишь в первые годы после аварии и были единичны. Схожая картина наблюдается и для доз, сформированных за счет рентгенодиагностических исследований, где в конце 90-х годов дозы были порядка 0,6 мЗв и снижались с течением времени. В 2020-2021 гг. медиана доз от рентгеновских исследований составила 0,02 [0,02; 0,05] мЗв. В то же время максимальные значения доз, внесенных в Госрегистр, достигает 900 мЗв. Такие значения единичны и, вероятно, ошибочны. При распределении доз внутреннего облучения по ГПУ, наибольшие медианные значения 6,46 [0,01; 46,77] мЗв достигались в ГПУ1 и 1,7 [0,09; 3,75] в ГПУ3 в 1987 г. на небольшом количестве измерений.

Таким образом, проведенный анализ показал, что требуется пересмотр блоков дозиметрических данных RegCurDoz и REGINDOZ Госрегистра с участием экспертов для верификации внесенной информации.

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ ПОПРАВОЧНЫХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ НА АЛЬБЕДНЫЕ ДОЗИМЕТРЫ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА РАБОЧИХ МЕСТАХ С ЛОКАЛЬНЫМИ ИЗОТОПНЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Ганцовский П.П., Комаров А.Ю., Цовьянов А.Г., Мазурин Н.К.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
gantsov@mail.ru

Энергетическая зависимость чувствительности альбедных нейтронных дозиметров имеет спадающий с ростом энергии нейтронов характер, что приводит к значительным ошибкам результата измерения индивидуальной дозы нейтронного излучения, полученного с помощью такого дозиметра в полях, отличных от поверочной установки, и как следствие к переоценке или недооценке значения полученной индивидуальной дозы. Для снижения ошибки результата измерения, как правило, проводится определение поправочных коэффициентов, корректирующих результат измерения с учетом условий облучения.

На рабочих местах с локальными изотопными источниками нейтронного излучения значения поправочного коэффициента, как правило, находятся в диапазоне от 0,2 до 1. Ввиду высокой неравномерности поля таких источников в пределах рабочего места персонала возникает необходимость в определении требований к процедуре определения значений поправочных коэффициентов на рабочих местах, связанных с позиционированием измерительной аппаратуры.

Показана высокая чувствительность результата определения поправочного коэффициента для рабочего места в зависимости от выбора точки измерения. Проведены расчеты распределения в пространстве значения поправочного коэффициента для наиболее часто встречающихся типов рабочих мест. Продемонстрированы примеры практически двукратного изменения значения поправочного коэффициента при перемещении точки измерения на 1 метр на реальных рабочих местах.

Полученные результаты показывают необходимость учета неравномерности поля нейтронного излучения при определении поправок на показания индивидуальных дозиметров, учитывающих спектр нейтронного излучения на конкретном рабочем месте.

**РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ
ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА**

Ганцовский П.П., Цовьянов А.Г., Комаров А.Ю., Карев А.Е., Гуревич А.В., Балакин М.Д.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
gantsov@mail.ru

Целью данной работы являлось исследование и выявление особенностей формирования доз внешнего облучения персонала при производстве нового смешанного нитридного уран-плутониевого топлива, освоение производства которого происходит на настоящий момент в России. Радиационным характеристикам данного топлива посвящено достаточно мало работ.

В работе представлены результаты радиационно-гигиенического исследования факторов внешнего облучения персонала на рабочих местах экспериментальных установок проводившегося в 2018-2019 гг. При проведении исследований производились дозиметрические и спектрометрические измерения операционных величин на рабочих местах персонала, а также измерение индивидуальных эквивалентов доз персонала, включая дозы на кожу, с помощью индивидуальных дозиметров. Показано, что нейтронная компонента формирует около 20 % дозы внешнего облучения. Годовая эквивалентная доза облучения кожи кистей рук составила 190 ± 50 мЗв и при увеличении объемов производства данная величина

будет являться фактором ограничивающим время работы. Определено, что из-за конфигурации рабочих мест эквивалентная доза облучения нижней части живота примерно на 60 % выше, чем эквивалентная доза на уровне груди, что важно при индивидуальном дозиметрическом контроле женского персонала. Дозы облучения кожи лица и хрусталика глаза оказались незначительными вследствие достаточной защиты, обеспечиваемой защитным стеклом герметичных боксов.

Полученные результаты дают представление о текущих уровнях облучения персонала при отработке новых технологий и позволяют выявить основные факторы вредного воздействия внешнего облучения, которым подвергнется персонал при промышленном внедрении осваиваемой технологии.

К РАСЧЕТУ ФАКТОРА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ДЛЯ СОЛИДНЫХ РАКОВ

Губин А.Т.

Научно-технический центр радиационной и химической безопасности ФМБА России,
г. Москва, Россия
gubin@ntcrhbg.ru

Разработка математических моделей радиогенной заболеваемости и смертности от раков открыла новые возможности для расчета фактора эффективности дозы и мощности дозы (DDREF), на который делят оценки радиогенных рисков (RR), полученные по эпидемиологическим данным для кратковременных облучений (по данным когорты LSS), чтобы получить оценки RR для практически значимых доз и мощностей дозы. Однако при этом возникают затруднения из-за неопределенности оценок параметров моделей по эпидемиологическим данным. Покажем их на примере моделей риска для солидных раков из публикации 103 МКРЗ. Для радиогенной интенсивности заболеваемости на единицу дозы после однократного облучения лиц пола s в возрасте t_0 при достижении возраста t из них следует формула $\Delta v_{rc}(s, t_0, t) = Ae^{a \cdot t_0} t^b$. В таблицу сведены использованные в формулах далее значения

Источник	Preston et al, 2007		Данная работа	
	муж	жен	муж	жен
$A, \text{год}^{-1} \text{Гр}^{-1}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$5,54 \cdot 10^{-7}$	$6,37 \cdot 10^{-9}$	$8,38 \cdot 10^{-6}$
$a, \text{год}^{-1}$	-0,274	-0,274	0,0180	0,0157
$b, \text{год}^{-1}$	2,38	2,38	3,23	1,44
Абс. СКО	0,0290	0,0144	0,0283	0,0139
Отн. СКО	10,4	4,50	5,55	1,93

параметров, определенные (Preston et al, 2007) по данным файла *lssinc07.csv* с сайта RERF (rerf.or.jp), и наши значения, вычисленные методом глобальной подгонки (Губин, 2018) по тем же данным. По среднеквадратичным отклонениям в таблице видно, что при наших значениях

обеспечивается лучшее соответствие моделей с данными. Согласно опубликованному ранее алгоритму (Губин, 2022), в случае постоянной мощности дозы для фактора эффективности мощности дозы (DREF) применима формула

$$DREF(s) = \int_0^{t_{\max}} Q(s, t_0) \left[\int_{t_0}^{t_{\max}} Q^{(3d)}(s, t_0, t') \Delta v_{rc}(s, t_0, t') dt' / \int_{t_0}^{t_{\max}} Q^{(3d)}(s, t_0, t') \Delta v_{rc}(s, t_0, t') dt' \right] dt_0 / \int_0^{t_{\max}} Q(s, t_0) dt_0,$$

где $\Delta v_{rc}(s, t_0, t)$ – радиогенная ИЗ при постоянной мощности дозы, определяемая как $\Delta v_{rc}(s, t_0, t) = \int_{t_0}^t Q^{(3d)}(s, t_0, t') \Delta v_{rc}(s, t', t) dt' / \int_{t_0}^t Q^{(3d)}(s, t_0, t') dt'$, а $Q(s, t)$ – функция дожития и $Q^{(3d)}(s, t_0, t)$ – функция здорового дожития, нормированная на единицу в возрасте t_0 . Обе функции дожития рассчитывали с применением аппроксимаций $\mu(t_0, t) = \exp(\kappa_0 + \kappa_1 t_0 + \gamma_0 t)$ для интенсивности смертности от всех причин с коэффициентами, определенным методом глобальной подгонки по данным о смертности из файла *lss14.dat* с сайта RERF и таблиц для населения Японии с сайта HMD (mortality.org).

Расчеты при $t_{\max} = 100$ лет дали следующие оценки: при $\mu(t_0, t)$, определенной по данным LSS и принятых в моделях МКРЗ значениях параметров из работы (Preston et al, 2007), DREF для мужчин, женщин и всего населения равен 1,38; 1,40 и 1,39, а при наших значениях параметров – 0,786; 0,824 и 0,800 соответственно. При $\mu(t_0, t)$ для населения Японии картина аналогична: 1,37; 1,37; 1,37 и 0,792; 0,836; 0,814. Наибольшее различие в сравниваемых значениях параметров моделей МКРЗ наблюдается для параметра a , который отражает различия в условиях жизни поколений, принадлежащих разным календарным периодам, и возможно – изменения радиочувствительности организма с возрастом. Таким образом, DREF сильно зависит от нерадиационных факторов, чем может быть обусловлено разнообразие количественных оценок этой величины в эпидемиологических исследованиях. Результаты показывают, что применение DDREF=2 для рисков протяженных облучений, скорее всего, сильно занижает связанные с ними медицинские последствия.

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ ВРАЧЕЙ ПО ВОПРОСАМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ДОЗИМЕТРИИ В ПЕРВОМ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ И.П. ПАВЛОВА

Старков А.В., Давыдова Е.В., Гребенюк А.Н., Старовойт А.В., Гедерим В.В.
Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия
davilena@yandex.ru

В Первом Санкт-Петербургском государственном медицинском университете имени академика И.П. Павлова (ПСПбГМУ) Министерства здравоохранения РФ при подготовке врачей по специальностям «Лечебное дело», «Стоматология», «Педиатрия» и клинических ординаторов всех специальностей вопросам радиационной безопасности и дозиметрии уделяется большое внимание. При возможном развитии сложной радиационной обстановки потребности в медицинских силах и средствах будут весьма значительные. Врачи всех специальностей должны быть готовы к организации медицинского обеспечения населения при радиационных авариях и катастрофах. Кроме того, весьма важно уметь организовывать мероприятия по защите персонала медицинских и аварийно-спасательных формирований при ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций радиационной природы.

На кафедре мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф будущие врачи получают компетенции по вопросам радиационной безопасности при изучении дисциплин «Безопасность жизнедеятельности» и «Медицина катастроф». В результате освоения данных дисциплин у студентов формируется готовность и способность к работе в чрезвычайных ситуациях радиационного характера. Основной целью подготовки клинических ординаторов по дисциплине «Медицина чрезвычайных ситуаций» является формирование компетенций, направленных на организацию мероприятий медицинского обеспечения по предупреждению и ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций.

Формирование данных компетенций у обучаемых достигается путем прослушивания цикла лекций и в ходе практических занятий, где подробным образом излагаются основные теоретические положения радиобиологии, патогенез и клинические проявления радиационных поражений, мероприятия медицинской службы по профилактике и оказанию первичной медико-санитарной и специализированной помощи пострадавшим радиационного профиля.

На практических занятиях особое внимание уделяется вопросам выявления и оценки радиационной обстановки по данным радиационной разведки и контроля. Студенты подробно изучают предназначение, характеристики современных дозиметров, измерителей мощности дозы, индикаторов-сигнализаторов. Отрабатывают практические навыки по проведению радиационного наблюдения, контроля радиационной обстановки и экспертизы воды и продовольствия. В ходе оценки радиационной обстановки с помощью справочных данных,

обучаемые по специально разработанным ситуационным задачам устанавливают количество и структуру санитарных потерь среди населения, спасателей, медицинского персонала при действиях или преодолении зон радиоактивного загрязнения местности (РЗМ), определяют допустимое время входа, начала преодоления и допустимой продолжительности пребывания людей на РЗМ. Далее отрабатываются задания по дезактивации и санитарной обработке, а также мероприятия медицинской и технической защиты.

Коллективом кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф разработаны ситуационные задачи для студентов и ординаторов, где на примере гипотетических аварий на радиационно-опасных объектах Ленинградской области обучаемым требуется подготовить план ликвидации медико-санитарных последствий, включая оценку радиационной (медицинской) обстановки, расчет потребности в медицинских силах и средствах, организацию медицинской эвакуации различных групп пациентов.

Полученные в ПСПбГМУ знания и навыки позволят врачам грамотно организовывать и проводить мероприятия по профилактике, диагностике и лечебно-эвакуационному обеспечению населения при чрезвычайных ситуациях радиационной природы мирного и военного времени.

АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ПОСТУПЛЕНИЕМ ПЛУТОНИЯ, ТРЕБОВАНИЯМ МЕЖДУНАРОДНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Ефимов А.В., Соколова А.Б., Джунушалиев А.Б.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия

ephimov@subi.su

В настоящее время индивидуальный дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония в организм, производится методом биофизического обследования, при котором выполняются измерения содержания изотопов плутония в пробах суточного количества мочи. Затем для оценки нормируемых величин (ожидаемой эффективной дозы и поступления) используются биокинетические и дозиметрические модели. Нормы и Правила радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010), действующие в Российской Федерации, опираются на требования и подходы, изложенные Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) в Публикациях 68, 78, в которых для оценки основных нормируемых величин использованы биокинетические модели МКРЗ, представленные в Публикациях 30, 66, 67. При внедрении в практику современных требований МКРЗ, отечественные методические документы должны быть актуализированы с учетом новых подходов и новых биокинетических и дозиметрических моделей, представленных МКРЗ в Публикациях 130, 134, 137, 141.

В данной работе был проведен анализ соответствия действующей системы индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония, актуальным требованиям МКРЗ, изложенным в Публикации 130, на примере условий производства ФГУП «ПО «Маяк».

В результате исследования были определены величины пределов годового поступления плутония на основании новых биокинетических и дозиметрических моделей, рассчитаны значения измеряемых величин при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению предела ожидаемой эффективной дозы для персонала категорий А, Б и женщин в возрасте до 45 лет. Согласно требованиям НРБ-99/2009, для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками ионизирующего излучения, вводятся дополнительные ограничения, в том числе поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала группы А. Для персонала группы Б основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия, устанавливаются равными 1/4 значений, введенных для персонала группы А.

В случае внедрения в практику требований Публикации 130 МКРЗ без учета достигнутых уровней безопасности на предприятиях России (в НРБ-99/2009 для соединений с АМАД 1 мкм сохранены значения предела годового поступления ниже, чем значения, полученные с использованием дозовых коэффициентов), предел годового поступления ^{239}Pu для соединений типа П с АМАД 1 мкм увеличится на порядок. Для соединений типа М с АМАД 1 мкм и 5 мкм предел годового поступления ^{239}Pu уменьшится в 2 раза.

При введении новых требований МКРЗ для соединений типа П поступление более 1/4 предела годового поступления плутония может быть определено в течение года после поступления методом альфа-спектрометрии. Для определения поступления в 1/20 предела годового поступления при рекомендуемом интервале между измерениями 180 суток необходимо использовать метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Для персонала, работающего с труднорастворимыми соединениями плутония типа М, определение поступления одного предела годового поступления и 1/4 предела годового поступления возможно методом масс-спектрометрии, а 1/20 предела годового поступления только еще более чувствительным методом.

ОБЩИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Карев А.Е., Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Ганцовский П.П., Комаров А.Ю., Гуревич А.В.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
karev17@gmail.com

В докладе представлен общий подход к исследованию физико-химических характеристик промышленных радиоактивных аэрозолей на рабочих местах. Описаны основные физико-химические характеристики радиоактивных аэрозолей, формирующие дозу внутреннего облучения и методы для определения этих характеристик. Показано как с помощью предварительного статистического и корреляционного анализа данных по контролю объемной активности в стационарных точках и анализа картограмм воздухопотоков в технологических помещениях можно оптимизировать количество точек для пробоотбора. Описаны методы исследования дисперсного состава с помощью каскадных импакторов (стационарных и индивидуальных), описаны недостатки и преимущества различных моделей с точки зрения работы с ними в реальных производственных условиях, представлено сличение результатов по оценке дисперсного состава с помощью различных моделей.

Описана исследовательская методика определения типа химического соединения при ингаляции. Показано применение оптических счетчиков для установления корреляционных зависимостей между температурой, влажностью и счетной концентрацией аэрозолей. Описано применение методов микроскопического анализа, которые позволяют проанализировать форму частиц, характер распределения на них радиоактивного вещества, установить присутствие частиц в нано-диапазоне.

Описанные методы иллюстрируются примерами из экспериментальных работ по исследованию физико-химических характеристик радиоактивных аэрозолей, выполненных сотрудниками ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России на действующих производствах атомной отрасли в течение последних лет.

ПРИБОРНОЕ ОСНАЩЕНИЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА РАДОНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Карл Л.Э.^{1,2}, Маренный А.М.¹, Герцен Г.П.¹,
Лашенова Т.Н.^{2,3}, Губанова Ю.К.^{1,3}, Кайгородов Е.И.^{1,2}

¹НТЦ радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, г. Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

³ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

Lidiakarl@yandex.ru

Для обеспечения радиационной безопасности на территориях с повышенной потенциальной радоноопасностью требуется организация широкомасштабного радиационного мониторинга, при проведении которого существует ряд проблем, связанных с приборным оснащением и методическим обеспечением, активно решаемые лабораторией природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России.

Целью работы является совершенствование аппаратурно-методической базы и цифровой инфраструктуры для мониторинга радоноопасных территорий.

Для определения значений объемной активности радона (OA_{Rn}) в помещениях используют разные методы, отличающиеся длительностью и процедурой измерения, а также используемыми средствами измерений. Результаты мгновенно-разовых измерений не могут быть основой для принятия решений о превышении санитарно-гигиенических нормативов, регламентирующих среднегодовые значения OA_{Rn} . Поэтому наиболее широкое распространение в странах СНГ получил интегральный метод измерения OA_{Rn} в воздухе помещений с использованием нитроцеллюлозного детектора LR-115-2 (Kodak, Франция).

Однако у существующих интегральных средств измерений есть ряд недостатков: отсутствие возможности обеспечивать измерение только в необходимые для набора информации интервалы времени (например, на время присутствия людей в обследуемом помещении, в течение рабочей смены персонала и т. д.), а также отсутствие возможности исключать регистрацию альфа-частиц, в другие интервалы времени (при транспортировке и хранении на складе или, например, при отсутствии обитателей в обследуемом помещении, на время вне рабочей смены персонала и т. д.). Все это приводит к существенному увеличению неопределенности результатов измерений OA_{Rn} .

По этой причине разработан инновационный интервальный экспозиметр радона ИНЭРАД (тип ИЭ-2 и ИЭ-4), который имеет возможность измерять OA_{Rn} в заданных временных интервалах.

В связи со сложившейся геополитической ситуацией и в целях импортозамещения французского детектора в 2021 г. разработан способ и получены пилотные образцы отечественного нитроцеллюлозного детектора альфа-частиц, по характеристикам не уступающего западным аналогам (RU2769336C1). В настоящее время ведется разработка сканирующего устройства для оптической обработки новых трековых детекторов.

Оценка уровней радиационного воздействия ПИИИ на население возможна только на основе многолетних, территориально масштабных обследований с аккумуляцией результатов в информационно-аналитических ресурсах. Поэтому в лаборатории ПИИИ разработана информационно-аналитическая система (ИАС ПИИИ), которая содержит в основном результаты интегральных измерений концентрации радона в помещениях населенных пунктов субъектов РФ и ЗАТО (около 20 000 измерений за 30 лет исследований). ИАС ПИИИ предполагает развитие возможностей системы в плане хранения, анализа и представления результатов измерений и последующую интеграцию этих возможностей с деятельностью лабораторий, осуществляющих мониторинг радиационной обстановки.

Результаты проведенного исследования и их внедрение в практику позволят создать более благоприятные условия для проживания и деятельности населения на территориях с повышенной потенциальной радоноопасностью, а также снизить уровень облучения населения, проживающего на таких территориях.

ПРОБЛЕМА РАДОНОБЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Бахтин М.М.¹, Кашкинбаев Е.Т.¹, Ибраева Д.С.¹, Иса Ж.К.¹,
Кушербаев Н.¹, Hoshi M.², Omori Y.³, Казымбет П.К.¹

¹Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

²Hiroshima university, Japan

³Hirosaki University, Japan

kashkinbaev.ye@gmail.com

Обеспечение радоновой безопасности – одна из важнейших проблем, которая активно обсуждается в последние два десятилетия.

Населенные пункты Заводской и Аксу Акмолинской области расположены на расстоянии 5-6 км от хранилища Степногорского горно-химического комбината (СГХК) являющего крупным комплексом по производству закиси-окиси урана и других редких металлов. Основными видами производственных отходов являются хвосты переработки урановых руд, которые по содержанию в них радионуклидов относятся к I классу опасности.

Целью данного исследования была оценка радоновой безопасности населенных пунктов, расположенных вблизи хранилища радиоактивных отходов.

Для оценки радиационной обстановки территории населенных пунктов Аксу и Заводской были проведены комплексные радиэкологические исследования. Пешеходные измерения гамма-фона на фоновых участках, на территории населенных пунктов, внутри жилых домов и кабинетов средней школы проводили с использованием дозиметров ДКС-96, ДКС-АТ-1123, РКС-01-СОЛЮ. Автомобильная гамма-съемка территории поселков проводили с применением автолаборатории «Гамма-Сенсор». Измерение ЭРОА радона в жилых и административных помещениях проводили с применением радиометров радона «Рамон-02А», для мониторинговых измерений применяли радиометр радона «Radon Scout Plus» с ежемесячным снятием показателей температуры, влажности и концентрации радона, которые устанавливали в кабинетах школы.

На территории населенных пунктов мощность амбиентной эквивалентной дозы (МАЭД) гамма-излучения в Заводском варьирует в пределах от 0,11 до 0,18 мкЗв/ч, в Аксу от 0,12 до 0,26 мкЗв/ч. На территории поселка Аксу выявлены радиоактивно-загрязненные участки вдоль дороги и на территории сельской школы, где значение МАЭД варьирует в пределах от 0,35 до 2,8 мкЗв/ч, при фоновом значении 0,2 мкЗв/ч. В населенном пункте Аксу значение ЭРОА радона варьировали 3-9 779 Бк/м³, в п. Заводской 13-197 Бк/м³, при норме 200 Бк/м³. Годовая эффективная доза от поступления радона для критических групп населения населенного пункта Аксу составили 19,6 мЗв/год. При исследовании средних школ в населенных пунктах Аксу и Заводской МАЭД варьирует соответственно в пределах 0,18-0,32 мкЗв/ч и 0,10-0,12 мкЗв/ч. ЭРОА радона в кабинетах средней школы этих населенных пунктов колеблется в пределах 14-9 634 Бк/м³ и 22-39 Бк/м³ соответственно. Повышенный естественный радиационный фон в Аксу объясняется примыканием участка к зоне остатков рудных тел от рудника золотоизвлекательных фабрик. Для оценки дозовой нагрузки населения от радона и торона в 50 домах и внутри школы установлены детекторы «Raduet» на 1 месяц и 3 месяца.

Таким образом, в населенном пункте Аксу выявлены аномальные участки, где МАЭД до 14 раз превышает фоновое значения. Максимальное значения ЭРОА радона в жилых помещениях и в кабинетах школы Аксу до 48 раз превышает нормативное значения. Годовая эффективная доза от поступления радона для критических групп населения населенного пункта Аксу составили 19,6 мЗв/год. Для оценки дозовой нагрузки критических групп населения, проживающих в зоне влияния техногенных радиационных факторов, комплексные радиологические исследования будут продолжены.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ

Комаров А.Ю.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

komarov_artiom@mail.ru

Оценку объемной активности вдыхаемого воздуха оценивают по специальным методикам на основании регулярных измерений объемной активности радионуклидов, находящихся в аэрозольной форме в воздухе рабочей зоны, а именно в точках пробоотбора. Для этого используют средства и методики выполнения измерений активности, допущенные к применению в установленном порядке. Результаты этих измерений позволяют определить персонал, являющийся объектом индивидуального контроля внутреннего облучения и вычислить среднегодовую объемную активность отдельного радионуклида в воздухе рабочих зон. В стандартных условиях непревышение среднегодовой объемной активности радионуклидов в воздухе рабочего места допустимого уровня (ДОО) монофакторного воздействия гарантирует соблюдение основных пределов доз, установленных НРБ-99.

Целью данной работы являлось выявление статистических особенностей в данных объемной активности на участке производства СНУП топлива КЭУ-1 и КЭУ-2, за период с 2014 по 2019 годы с выявлением особенностей формирования выбросов и превышений ДОО в определенные периоды времени при проведении работ.

В докладе представлены статистические особенности значений объемной активности на участках. Построены диаграммы распределения значений объемной активности по годам и месяцам, в которые шли основные работы (рис. 1). Проанализированы временные этапы загрузки производства на этапе начала производства СНУП-топлива и выявлены основные временные закономерности образования значительных выбросов аэрозолей в операторскую зону. Сравнены значения годовых поступлений для различных диапазонов ДОО (от 0,19 до 1 и от 1 до 250).

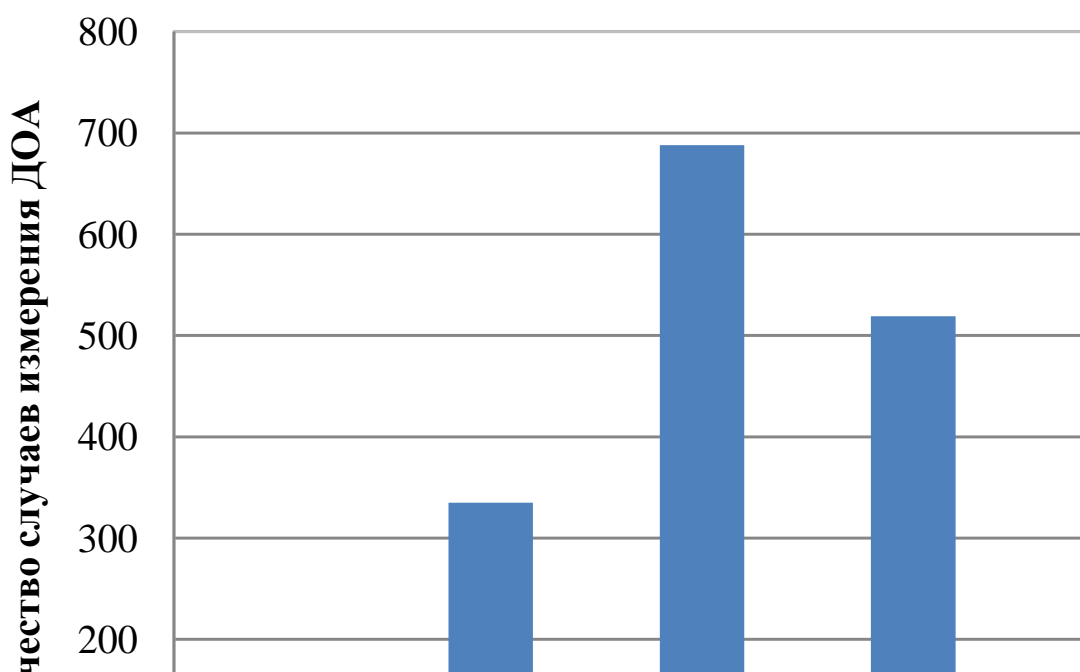


Рис. 1. Диаграммы распределения значений объемной активности за период наблюдения с 2014 г. по 2019 г.

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ФРЕДГОЛЬМА ПЕРВОГО РОДА ДЛЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПАРЫ ПЕРЕМЕННЫХ: ППА¹/МАЭД²

Крючков В.П., Брагин Ю.Н., Журавлева В.Е., Сивенков А.Г., Теснов И.К.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
v_kruchkov@mail.ru

Технологическое совершенство современных видов топлива ядерной энергетики (МОХ, REMIX) необходимо воспринимать в парадигме радиационной безопасности как качественно новый уровень ее обеспечения.

После ядерного или радиологического происшествия метрологически достоверные данные о загрязнении земли и воздуха имеют большое значение для лиц, принимающих решения, для своевременного и адекватного управления аварийным реагированием. Например, после аварии на АЭС «Fukushima Daiichi» прошли недели, прежде чем появилась первая подробная карта распределения радиации. Эта катастрофа выявила отсутствие инструментов в области радиационной защиты, необходимых для своевременной, но точной оценки радиологической ситуации. Одним из таких эффективных и важных инструментов является реконструкция распределения плотности поверхностной активности (ППА) загрязнения радионуклидами, возникшего в результате радиологического события, по данным измерения мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ (МАЭД) при достаточно большом наборе измерений.

Разрабатываемый нами метод применим для произвольного распределения поверхностной активности. Метод основан на численном решении уравнения Фредгольма 1-го рода. Поскольку данные инструментальных измерений всегда содержат погрешность, задача восстановления ППА по МАЭД на промплощадке является некорректной задачей, и для её решения предполагается применение метода регуляризации Тихонова. Отработку метода предполагается провести на модельной промплощадке и для виртуальных данных по МАЭД для различных источников поверхностного загрязнения: «точечного», «диффузионного», «равномерного» и «осколочного».

Два аспекта разрабатываемого метода реконструкции распределения поверхностной активности чрезвычайно важны, в т. ч.:

- производительность метода, которая позволит выполнить реконструкцию по всей промплощадке в губе Андреева (410м×550м) и тем более на промышленной площадке ЧАЭС (1 200м×550м);

- учет наличия зданий и сооружений, расположенных на промплощадке, в результате чего интерполяция МАЭД, предшествующая решению интегрального уравнения, и реконструкция распределения ППА должны выполняться для «нестандартной» площадки, при наличии барьеров: различных производственных зданий и сооружений, препятствующих прохождению ионизирующего излучения.

В настоящей работе делается попытка выполнить сформулированные выше условия путем оптимизации алгоритмов вычислений в разработанной компьютерной программе и использования более мощной вычислительной техники. Также нами разработан и будет представлен на конференции метод решения уравнения Фредгольма в барьерной геометрии для пары МАЭД – ППА на основе представления промплощадки, зданий и радиационных полей в виде раstra и использования матрицы видимости ячеек этого раstra.

¹ ППА – плотность поверхностной активности загрязнений радионуклидами.

² МАЭД – мощность AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ.

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В 1986 Г. У ЛИЦ, ВКЛЮЧЕННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИСТР

Никонович С.Н., Веялкин И.В., Дрозд Е.А.

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь
veyalkin@mail.ru

С момента аварии и до настоящего времени перед здравоохранением стоит задача постоянного наблюдения за состоянием здоровья пострадавшего населения, в том числе и лиц, принимавших участие в ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС (далее – ЧАЭС).

В целях контроля за состоянием здоровья населения, подвергнутого радиационному воздействию, в Республике Беларусь был создан Белорусский государственный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС (далее – Госрегистр). Структура базы данных Госрегистра включает в себя несколько информационных блоков: блок идентификации личности; блок перемены места жительства после аварии; блок дозиметрической информации; блок сведений о заболеваемости; блок других сведений; технический блок базы данных. Блок дозиметрической информации предполагает содержание количественных данных об индивидуальных накопленных дозах внешнего и внутреннего облучения.

Для проведения радиационно-эпидемиологических исследований по установлению зависимости «доза-эффект» необходимо знание индивидуальных накопленных с момента аварии на ЧАЭС доз облучения. Из 280 тыс. лиц, включенных в Госрегистр (ГПУ 1-3), лишь у единиц имеются разрозненные сведения о годовых дозах внешнего облучения. Эти данные не могут служить основой для радиационно-эпидемиологических исследований. Для лиц, включенных в Госрегистр, необходимо реконструировать индивидуализированные дозы внешнего облучения, накопленные с момента аварии на ЧАЭС. Эту задачу можно решить, изучив закономерности формирования доз внешнего облучения.

Целью данной работы стала оценка имеющихся данных о дозах облучения щитовидной железы (ЩЖ) у пострадавшего населения, состоящего на учете в Госрегистре.

Исходным материалом для данного исследования послужили данные Госрегистра.

Статистический анализ данных проводился средствами анализа данных MS Excel 2016 и IBM SPSS Statistics. В работе приведена описательная статистика, при сравнении использовались методы непараметрической статистики (критерий Манна – Уитни) и в описании данные приведены как медиана (Me), 1 и 3 квартили.

В ходе работы была проведена полная оценка дозиметрического блока REG86DOZ Госрегистра и формирование базы данных для последующего анализа. В блоке Госрегистра содержится информация о мощности дозы над ЩЖ и поглощенной дозе в ЩЖ. В базе данных о дозах облучения ЩЖ в 1986 г. (REG86DOZ) содержится 64 473 записи о мощности дозы над ЩЖ. При этом о поглощенных в ЩЖ дозах имеется только 1 856 записей, отличных от нуля. Мощность дозы над ЩЖ варьировала от 0 до 9 800 мкР/час, медианное значение составило 240,0 [120,0; 500,0] мкР/час. Максимальное количество расчетных значений поглощенной дозы (1 760) было в мае 1986 г. В другие месяцы количество рассчитанных доз – единично (65 – в июне, 3 – в июле и 27 значений в другие годы). Наиболее высокие дозы в мае 1986 г. отмечали у эвакуированного населения (63,5 [19,5; 89,5] мЗв). У ликвидаторов и населения, отнесенного к ГПУЗ, медианы доз (30,0 [16,0; 54,0] мЗв и 37,0 [19,0; 80,0] мЗв соответственно) статистически значимо различались. Других значимых различий доз между ГПУ отмечено не было, что связано с небольшим количеством измерений в ГПУ2.

Таким образом, по результатам оценки имеющихся в Госрегистре данных о дозах облучения ЩЖ в 1986 г. можно сделать вывод, что индивидуальных доз облучения, содержащихся в Госрегистре, мало и они в основном датируются маем 1986 г. Такого количества доз явно недостаточно для проведения полноценных радиационно-эпидемиологических исследований.

ОЦЕНКА ДОЗЫ МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ ПРИ АВАРИЙНОМ ИНГАЛЯЦИОННОМ ПОСТУПЛЕНИИ Pu-239

Осовец С.В., Азизова Т.В., Рыбкина В.Л., Синельщикова О.А.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Несмотря на осуществление технических и организационных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности на предприятиях атомной промышленности, при выполнении отдельных технологических операций или ремонтных работ могут возникнуть нештатные ситуации, в результате которых персонал может подвергнуться аварийному радиационному воздействию, превышающему установленные пределы.

В этом случае, наряду с обычными методами физической дозиметрии, важную практическую роль в оценке дозы, могут играть методы биологической дозиметрии. В частности, цитогенетический метод биологической дозиметрии, основанный на учете специфических хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови, который в настоящее время наиболее широко используется при аварийных ситуациях и отдельных инцидентах радиационного облучения.

В настоящем исследовании для оценки дозы, полученной работником ПО «Маяк» при аварийном ингаляционном поступлении Pu-239, были использованы результаты цитогенетического анализа лимфоцитов крови. В качестве стандартных кривых для оценки доз использовались ранее полученные рутинным методом дозовые зависимости «доза-эффект» для стабильных, нестабильных, а также общего числа хромосомных aberrаций. Все эти зависимости можно представить в виде обобщенной аналитической модели:

$$N = N_0 + \alpha \ln \frac{D}{D_0}, \quad (1)$$

где N – число хромосомных aberrаций на 100 клеток (%); D – поглощенная в легких доза (сГр); N_0 – фоновое число хромосомных aberrаций; D_0 – пороговое значение дозы на орган (сГр); α – инкремент ХА (%).

Для расчета *поглощенных доз* методом биологической дозиметрии использовали эквивалентно преобразованную следующим образом формулу (1):

$$D = D_0 \cdot \exp \left[\frac{(N - N_0)}{\alpha} \right]. \quad (2)$$

Для всех типов хромосомных aberrаций в расчетах использовали среднюю величину пороговой дозы $D_0 = (6,12 \pm 1,20)$ сГр. Далее, используя результаты цитогенетического анализа по работнику ПО «Маяк» в первый день после аварийного инцидента, а также исходные характеристики модели (N_0 , α ; D_0), были получены следующие результаты: по общему числу хромосомных aberrаций ($N = 4,3$; $N_0 = 1,1$; $\alpha = 2,54$; $D_0 = 6,12$) – $D_1 = 21,6$ сГр $\approx 0,22$ Гр; по стабильным хромосомным aberrациям ($N = 1,2$; $N_0 = 0,39$; $\alpha = 1,06$; $D_0 = 6,12$) – $D_2 = 13,1$ сГр $\approx 0,13$ Гр; по нестабильным хромосомным aberrациям ($N = 1,2$; $N_0 = 0,25$; $\alpha = 0,67$; $D_0 = 6,12$) – $D_3 = 25,3$ сГр $\approx 0,25$ Гр.

В качестве окончательной оценки, поглощенной в легких дозы от внутреннего α -облучения, использовали среднюю величину: $\bar{D}_{\text{пог}} = (D_1 + D_2 + D_3)/3 = 0,2$ Гр.

Для оценки эквивалентной дозы надо учесть коэффициент качества α -излучения $k_\alpha = 20$ и коэффициент $DDREF=2$, рекомендованный Международной комиссией по радиологической защите для радиобиологических эффектов. В результате получаем $\bar{D}_{\text{экв}} = (0,2 \text{ Гр} \cdot 20/2) = 2$ Зв.

Таким образом, на основе частоты хромосомных aberrаций с использованием калибровочных кривых и биодозиметрической системы, разработанной нами ранее, оценены поглощенная и эквивалентная дозы в легких от внутреннего α -излучения в первые сутки после аварийного ингаляционного поступления.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ОЦЕНКИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Пантелькин В.П., Цовьянов А.Г.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

vldpkn@yandex.ru

Как для эмали зуба, так и для кости в спектрах электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) исходно присутствует так называемый нативный сигнал, который не связан с их облучением. Нативный сигнал связан с наличием как в эмали зуба, так и в кости органических веществ.

При оценке значений поглощенной дозы с использованием метода ЭПР возникают трудности при интерпретации получаемых спектров ЭПР для химически необработанных образцов костей в области значений поглощенной дозы ниже 8-10 Гр. Радиационная составляющая спектра в области его максимума перекрывается нативной составляющей, поэтому при малых значениях поглощенной дозы значение максимума радиационного сигнала трудно определить.

Для уменьшения нижнего предела измерения поглощенной дозы и повышения надежности получаемых оценок значений поглощенной дозы с помощью метода ЭПР требуется уменьшить нативную составляющую ЭПР-сигнала, не затрагивая, по возможности, радиационную составляющую сигнала ЭПР. Для достижения такого эффекта была предложена химическая обработка образцов костного материала в растворах аминов, которые воздействуют на коллагеновые соединения, присутствующие в костях и ответственные за появление нативного сигнала в спектре ЭПР.

Для проведения работ по изучению влияния химической обработки образцов костного материала в органических растворителях на их спектры ЭПР было подготовлено необходимое число образцов костей. Они были подвергнуты первичной обработке для отделения костей от остатков мягкой биологической ткани, затем была выделена плотная кость и проведено ее обезжиривание. Далее была проведена серия параллельных опытов по дополнительной химической обработке костных материалов в растворах трех органических восстановителей (гидразин-гидрате, диэтилентриамине и этилендиамина) для уменьшения величины нативного сигнала при проведении работ по реконструкции поглощенных доз с применением ЭПР-спектрометрии. Запись спектров ЭПР производилась на спектрометре ELEXSYS E500 фирмы Bruker, снабженном высокочастотным цилиндрическим резонатором SHQE. Облучение образцов проводилось на рентгеновской биологической установке РУБ РУСТ-М1.

Было установлено, что при проведении химической обработки происходит существенное уменьшение нативного сигнала в спектре ЭПР костных материалов, уменьшение же радиационного сигнала при этом незначительно.

Сравнение спектров ЭПР после обработки костных материалов в трех органических восстановителях показало, что лучшие результаты дает применение химической обработки при температуре 30 °С в течение 30 минут. После химической обработки в растворе разных аминов произошло существенное уменьшение амплитуды нативного сигнала, которое составило: 4 для гидразин гидрата, 3,3 для диэтилентриамин и 2,1 для этилендиамина. Лучшие результаты дает применение раствора гидразин-гидрата.

Для образцов костного материала, которые подвергались предложенной химической обработке в растворе гидразин-гидрата, удается уверенно определить амплитуду радиационного сигнала со значением 2-3 Гр против минимальных значений доз 6-8 Гр для образцов костного материала, которые не подвергались химической обработке.

ПРОБЛЕМЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ НЕФОТОННОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПО СВЕТОВОХОДУ КВАРЦА СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

Портман А.И., Потемкин А.М.

ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, г. Москва, Россия

portman@ntcrhbg.ru; potyomkin@ntcrhbg.ru

Ретроспективная дозиметрия по термолюминесценции кварца строительной керамики позволяет с достаточной точностью восстановить экспозиционные дозы гамма-излучения.

Из-за малого пробега в керамическом материале, α - и β -излучение выделить сложнее, т. к. его влияние ограничивается поверхностным слоем материала-детектора, удаляемым при пробоподготовке.

В данной работе приводится описание особенностей ретроспективной оценки поглощенной дозы нейтронного ионизирующего излучения в составе смешанного гамма-нейтронного излучения.

Материальная основа ретроспективной люминесцентной дозиметрии заключается в возникновении под действием ионизирующего излучения центров неравновесных зарядовых областей в веществе детектора и длительном сохранении в метастабильном состоянии некоторой части из них, пропорциональной величине поглощенной дозы. При активации детектора происходит высвобождение этих зарядов и наблюдается люминесценция.

1. Реальным ионизирующим агентом в веществе является возбужденный электрон самого материала-детектора. Роль ионизирующего излучения в данном случае сводится к передаче электронным оболочкам какой-либо части своей энергии при рассеянии. Вычленив составляющую нейтронного излучения затруднительно, т. к. непонятно происхождение возбужденного электрона. В ходе экспериментальной работы было отмечено, что температурный порог активации для нейтронного световыхода много выше, чем для гамма-излучения. Это свойство и было применено для разделения сигналов.

2. Показано, что световыход на единицу дозы для нейтронов примерно в 6 раз меньше, чем для гамма-излучения. Как следствие, высокий дозовый порог обнаружения ($n > 20$ сГр, $\gamma > 3$ сГр) и бóльшая неопределенность данных.

3. После процессов фосфоресценции и флуоресценции заряды в электронных оболочках, пригодные для ретроспективной дозиметрии сохраняются только в местах нарушения структуры или состава в узлах кристаллической решетки материала. Таких зарядов очень мало (к этому п. 2), что требует специальных приемов, увеличивающих соотношение сигнал/тепловой шум световыхода термолюминесценции. Например, в данном исследовании применена модификация методов из ГОСТ Р 22.8.08-2001 и МИ РГИ-1/2022 (ФР.1.38.2022.441730).

4. Энергетическая зависимость: если для гамма-излучения энергия квантов нелинейно влияет на световыход термолюминесценции только в мягком рентгеновском спектре, то для нейтронного излучения точные закономерности не определены. При этом известно, что характеристики рассеяния нейтронов имеют взаимосвязь с их энергией. Следовательно, энергия нейтронов будет влиять на световыход термолюминесценции кварца. В данной работе использовали излучение нейтронов разных энергий от 0,3 до 0,9 МэВ. в диапазоне от 0,5 до 0,8 МэВ результаты измерения световыхода хорошо согласовывались с теоретическими предсказаниями.

5. Есть предположение, что термолюминесценция кварца строительной керамики от гамма-излучения сверхвысоких энергий будет схожа с термолюминесценцией от нейтронов. Значит, возможно, результаты данной работы показывают не столько способ оценить нейтронную составляющую при смешанном гамма-нейтронном излучении, сколько характеристики термолюминесценции при разных энергиях ионизирующего излучения. Следовательно, возможна оценка энергетических характеристик ионизирующего излучения по световыходу термолюминесценции кварца, что может быть применено для более точной оценки последствий облучения.

МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА АЭС И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ИНЦИДЕНТНЫХ ВЫБРОСАХ ^{131}I

Снигирев Е.В.¹, Александрова О.П.², Фадеев М.Н.³, Клепов А.Н.⁴

¹ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск, Россия

²АНО ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск, Россия

³АО «КОНЦЕРН ТИТАН-2» Томская область, г. Северск, Россия

⁴НПП «Дионис», г. Обнинск, Россия, Россия

evgsnigirev@rambler.ru

Разработаны методики, алгоритмы и программное обеспечение (на языке ФОРТРАН и в среде MathCad), для решения актуальных задач радиационного контроля и расчетного прогнозирования доз внешнего (ДВнО) и внутреннего облучения (ДВО) – эффективной и эквивалентных доз персонала АЭС и населения при инцидентных избыточных выбросах на АЭС субстанций с ^{131}I . В отличие от типовых положений нормативных МУ и РМ (Росатом), в работе реализуется индивидуальный подход, в рамках которого предусмотрены следующие направления: 1) предложены методики идентификации параметров кинетики субстанций ^{131}I в организме лиц из персонала или населения и определения у них ДВО, а также расчета комбинированных – ДВнО (сформированных от излучения субстанций ^{131}I в облаке выброса) и ДВО; 2) разработана методика расчета ДВнО лиц, близко контактирующих с лицами из персонала после поражения их субстанциями ^{131}I ; 3) в рамках этих подходов предложены модели и схемы повременной радиометрии (РМ) или дозиметрии (ДМ) лиц из персонала – после поражения их субстанциями ^{131}I , как в период кратковременного, так и в период долговременного пребывания их в зоне выброса; предложены схемы размещения и алгоритмы измерений уровней облучения от этих лиц в задаче идентификации параметров многокамерных моделей кинетики ^{131}I в их организме, определяемых по данным повременной РМ или ДМ; 4) разработаны расчетные (фантомные) модели мужчины и женщины (рис. 1), для которых на заданной сетке размещения детекторов (РМ или ДМ) методом Монте-Карло (на основе кода MCNP) были рассчитаны удельные ДВнО от ^{131}I , последовательно распределенного в основных паттернах его обращения – в крови, в легких, в щитовидной железе, в печени, в почках, в мочевом пузыре, в отделах кишечника, в скелете. При этом установлен значительный вклад излучений от разных паттернов в характеристику детектирования (поток, ДВнО) в сечении измерения каждого конкретного паттерна, в частности, при детектировании излучения ^{131}I в сечении легких лица, пораженного субстанцией ^{131}I ингаляционно.

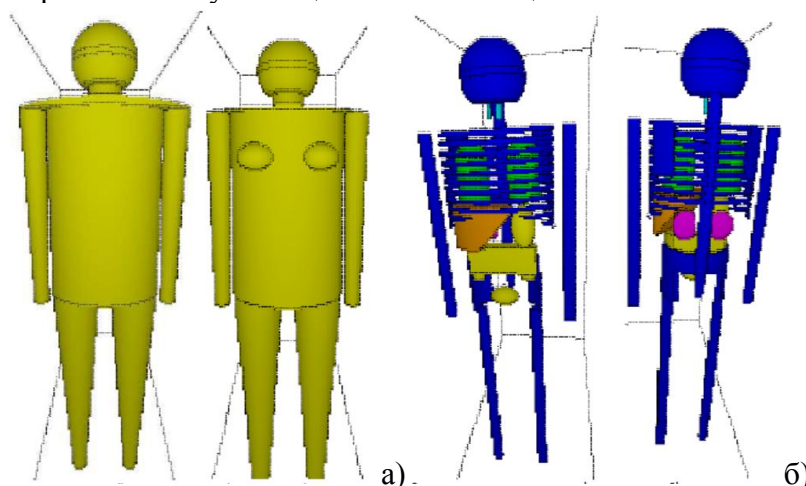


Рис. 1. Фантомы: MALE и FEMALE:

а) внешний вид; б) скелет и внутренние органы: вид спереди, вид сзади

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ БИОФИЗИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ХЕЛАТОВ, ПРИ АВАРИЙНОМ ПОСТУПЛЕНИИ ПЛУТОНИЯ

Соколова А.Б., Джунушалиев А.Б.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
sokolova@subi.su

В последнее время в центре внимания отечественных и зарубежных исследований находится проблема оценки доз аварийного облучения, так как даже в условиях устойчиво благоприятной радиационной обстановки на рабочих местах предприятий ядерно-топливного цикла возможны ситуации, приводящие к острому поступлению в организм соединений плутония. В лаборатории № 3 отдела радиационной безопасности и дозиметрии ФГБУН ЮУрИБФ ФМБА России с середины 60-х гг. действует система контроля и сопровождения случаев острого поступления актинидов.

В случаях поступления повышенных уровней плутония в целях предупреждения радиационных поражений или уменьшения риска их возникновения применяют хелатные комплексы. Для декорпорации плутония используют соединения диэтилен-триамин-пентауксусной кислоты (ДТПА). В отечественной практике в настоящее время применяется пентацин (Са-ДТПА). Присутствие хелатора значительно изменяет картину выведения плутония с мочой, независимо от пути поступления плутония в организм. В дни введения пентацина скорость выведения плутония с мочой может увеличиваться на порядок. Для оценки поступления полученные результаты измерений необходимо либо приводить к естественным уровням, либо использовать специальные модели. В настоящее время для приведения скорости стимулированной экскреции плутония с мочой к естественным уровням методические документы рекомендуют использовать коэффициенты ускорения, значения которых получены на основании экспериментальных исследований (Г.В. Халтурина с соавт.).

В рамках проблематики описания поведения плутония под воздействием хелаторов разрабатываются специальные модели. Для целей данной работы из всех специальных моделей, разработанных в последние десятилетия на базе актуальных моделей кинетики актинидов Международной комиссии радиологической защиты, была выбрана модель, предложенная Konzen et al. Модель создана на базе CONRAD-модели (European Coordinated Network on Radiation Dosimetry). Для анализа соответствия фактических результатов обследования расчетным значениям, полученным с применением модели Konzen et al., были взяты 5 случаев аварийного поступления плутония персоналу ФГУП «ПО «Маяк» с различными уровнями и путями поступления. Статистический анализ согласия фактических данных расчетным показал, что модель Konzen et al. способна описывать динамику выведения плутония при разных режимах введения пентацина, разных путях поступления и разных наборах исходных данных.

На основании модели Konzen et al. рассчитаны коэффициенты ускорения для острого ингаляционного и раневого поступлений при разных режимах введения пентацина. Следует отметить, что коэффициенты ускорения выведения плутония с мочой под действием ДТПА, полученные по модели Konzen et al., значительно отличаются от коэффициентов, рекомендуемых актуальными методическими документами:

– коэффициенты ускорения выведения плутония с мочой на 1-е, 2-е, и 3-и сутки составляют 74,0; 48,8 и 26,8 (по данным К. Konzen et al.);

– коэффициенты ускорения выведения плутония с мочой на 1-е, 2-е, и 3-и сутки составляют 17,7; 28,1 и 32,0 (получены в исследованиях Г.В. Халтуриным с соавт., рекомендуются методическими документами).

МИКРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ Pu-239 В ЛЕГКИХ РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК»

Сыпко С.А., Бобов Г.Н., Введенский В.Э., Назаренкова А.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
vvedensky@subi.su

Развитие атомной энергетики приводит к накоплению долгоживущих α -излучающих актинидов в органах основного депонирования, что представляет значительную опасность для здоровья человека. В результате альфа-распада актинидов возникают ядра отдачи, взаимодействие которых с атомами кристаллической решетки твердой фазы радиоактивного вещества приводит к образованию свободных наночастиц или кластеров. Характерный размер указанных фрагментов колеблется в пределах от единиц до десятков нанометров. Принимая во внимание различия в распределении по отделам воздухоносных путей микро- и наноразмерных частиц, необходимо учитывать вклад последних в общую активность аэрозолей для корректных дозовых оценок.

Для исследований микрораспределения ^{239}Pu в легких были использованы парафинированные образцы легкого двух работников плутониевого производства ПО «Маяк» и два фоновых случая персон, никогда не работавших на ПО «Маяк».

Из каждого образца легкого отбирали два последовательных среза толщиной 5 мкм. Первый срез помещали на трековый детектор из сверхчистого синтетического кварца. Сборку из нескольких детекторов подвергали облучению потоком тепловых нейтронов. Суммарный поток составил $4 \cdot 10^{17}$ нейтрон/см². В результате деления ядер ^{239}Pu возникали осколки, которые оставляли в детекторе латентные треки. Из второго среза готовили гистологический препарат. Второй срез являлся дополнительным на случай плохой окраски или потери тканей первого.

После облучения на детекторы вне области срезов наносили метки-царапины, после чего производили микрофотосъемку среза с получением панорамного изображения. Далее окрашивали срезы гематоксилином и эозином и повторно производили его микрофотосъемку с получением панорамного изображения. На следующем этапе срез ткани с детектора удаляли, детектор подвергали травлению в плавиковой кислоте для визуализации латентных треков и производили микрофотосъемку с получением панорамного изображения и микрофотосъемку с большим увеличением для подсчета треков. Подсчитывали одиночные треки и звезды (группы треков, исходящих из одного центра). На панорамном изображении детектора с визуализированными треками отмечали звезды. Полученное изображение совмещалось с панорамными изображениями ткани. Совмещение производили по меткам-царапинам. Локализацию каждой звезды определяли в соответствии с общепринятой классификацией анатомических отделов легкого, дополненной двумя отделами интерстициального склероза. Для фоновых случаев производился обсчет без соотнесения звезд с анатомическими отделами.

Для единичных треков была произведена оценка плотности. Плотность единичных треков для фоновых срезов легкого оказалась заметно ниже ($77\text{-}247 \text{ мм}^{-2}$), чем плотность единичных треков для случаев профессиональных работников ($463\text{-}677 \text{ мм}^{-2}$).

Полученные данные для звезд указывают на неравномерность распределения наночастиц диоксида плутония в легких. Было выполнено сравнение с результатами аналогичного исследования, проведенного ранее в ЮУрИБФ (Романов С.А., 2003). Результаты обоих исследований показали, что большая часть активности ^{239}Pu содержится в строме легкого (в участках интерстициального склероза), существенная часть активности плутония была обнаружена в паренхиме легкого. Для остальных отделов легкого наблюдали некоторые различия. В данном исследовании использовали более чувствительный метод, чем гистоавторадиография в исследовании Романов С.А., 2003. По этой причине активность в легких в данном исследовании была для двух случаев более чем в 20 и 112 раз меньше. Вполне возможно, что именно это повлияло на получение несколько различных результатов.

Необходимы дальнейшие исследования микрораспределения плутония в легких для реконструкции доз внутреннего облучения легких от инкорпорированного плутония.

МОДЕЛЬ ОБЛУЧЕНИЯ Т-ЛИМФОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ БИОДОЗИМЕТРИИ

Толстых Е.И.¹, Возилова А.В.¹, Аклеев А.В.^{1,2}

¹Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
г. Челябинск, Россия

²Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия
evgenia.tolstykh@yandex.ru

Оценка доз облучения на лимфоциты крови актуальна в свете решения ряда радиобиологических проблем. С величиной дозы облучения связывают оценку риска различных гемобластозов (лейкоз, множественная миелома, лимфома и др.). Кроме того, циркулирующие Т-лимфоциты используют в качестве «естественных биодозиметров», поскольку частота хромосомных aberrаций, возникающих в лимфоцитах после лучевого воздействия, пропорциональна накопленной дозе. Наиболее полно разработаны методы оценки доз по частоте дицентрических хромосом, но у этого метода есть ограничения: анализ должен быть выполнен в течение небольшого промежутка времени после облучения, так как происходит быстрое снижение числа клеток с дицентрическими хромосомами; если облучение было частичным или неравномерным, то нужно применять специальные расчетные методы (данные о количестве дицентрических хромосом в клетке) для оценки доз на все тело. Для целей ретроспективной дозиметрии обычно используют оценку стабильных хромосомных aberrаций, полученную методом FISH. Оценка доз облучения на циркулирующие лимфоциты требует учета двух факторов: во-первых, дозы полученной предшественниками лимфоцитов в костном мозге; а, во-вторых, дозы полученной лимфоцитами в лимфоидных органах при циркуляции. При облучении остеотропными радионуклидами – альфа- и бета-излучателями, эти дозы существенно различаются. Модели, представленные в публикациях Международной комиссии по радиологической защите (ICRP-67, ICRP-100), дают возможность рассчитать дозу для конкретного лимфоидного органа при известном уровне поступления радионуклида. Созданная нами модель облучения циркулирующих Т-лимфоцитов и их предшественников (ЦТЛП) учитывает все слагаемые дозы и возрастные особенности динамики Т-лимфоцитов: (1) облучение предшественников Т-лимфоцитов в костном мозге; (2) облучение Т-лимфоцитов в каждом лимфоидном органе с учетом доли резидентных лимфоцитов, а также времени пребывания там циркулирующих лимфоцитов. При облучении предшественника Т-лимфоцита в костном мозге потенциальный груз хромосомных aberrаций несут все его потомки, то есть целый набор клонов с уникальными Т-клеточными рецепторами. Все потомки одного предшественника и сам предшественник объединяются в Т-клеточный род, который является объектом моделирования. Верификация разработанной модели облучения ЦТЛП сводится к верификации модельных оценок доз на Т-лимфоциты. Такая верификация была выполнена на основе данных цитогенетических обследований доноров, проживавших на реке Теча (Челябинская обл., Россия) в 1950-е годы, где имело место радиоактивное загрязнение воды и продуктов питания, с существенным вкладом ^{89,90}Sr. Применение модели облучения Т-лимфоцитов возможно в различных областях: (1) для изучения радиобиологических эффектов неравномерного внутреннего облучения; (2) для расчетов дозовых коэффициентов, позволяющих перейти от перорального поступления ^{89,90}Sr, ^{141,144}Ce, ⁹⁵Zr, ^{103,106}Ru, ⁹⁵Nb к накопленной дозе на циркулирующие Т-лимфоциты и их предшественники, (3) для расчетов коэффициентов перехода от частоты транслокаций в циркулирующих Т-лимфоцитах к дозе на костный мозг в зависимости от возраста донора и источника внутреннего облучения.

Работа была выполнена при финансовой поддержке ФМБА России, номер государственного учета НИИР в ЕГИСУ НИОКТР 122040400135-0.

РАСЧЕТ ВНУТРЕННЕЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ ПОСЕЛКА АКСУ ЗА СЧЕТ РАДОНА

Хазипова А.А., Кашкинбаев Е.Т., Кушербаев Н., Иса Ж.К.

Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

aisulu148@gmail.com

Радон представляет собой естественный радиоактивный газ, который выделяется из-под земли, подземных вод и может быть обнаружен в общественных зданиях и домах. В этой связи важной является оценка концентрации радона в помещениях и при необходимости принятие мер для его снижения.

Согласно Национальным нормативным документам в жилых и административных помещениях допускается объемная активность радона 200 Бк/м^3 . По требованиям МАГАТЭ, МКРЗ и ВОЗ при значении больше 300 Бк/м^3 , необходимо принять соответствующие меры для снижения его концентрации.

Целью работы было измерить концентрацию радона в воздухе среднеобразовательной школы в населенном пункте Аксу Акмолинской области и рассчитать вероятные дозовые нагрузки для обучающихся и преподавателей.

В данном исследовании представлены результаты измерений концентраций радона в учебном заведении поселка Аксу, находящимся рядом с хранилищем радиоактивных отходов. Измерения проводились в период с 15 октября 2021 г. по 20 января 2023 г. Концентрация радона в школе измерялась радоновым монитором для определения эквивалентной равновесной объемной активности (далее – ЭРОА ДПР) радона «РАМОН- 02». Помимо этого на территории школы было проведено измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (далее – МАЭД ГИ) с помощью дозиметра-радиометра «ДКС-96».

По результатам пешеходной гамма-съемки среднее значение МАЭД ГИ составило $0,21 \pm 0,07 \text{ мкЗв/ч}$ и находится в пределах фонового показателя для данной местности. Максимальный показатель МАЭД ГИ $0,4 \text{ мкЗв/ч}$ был выявлен в игровом кабинете мини-центра, что превышает фоновое значение в 2 раза.

Среднее значение ЭРОА радона за весь промежуток исследования составило: на первом этаже – $1\,032,9 \pm 344,4 \text{ Бк/м}^3$, на втором этаже – $1\,912,1 \pm 637,4 \text{ Бк/м}^3$ и на третьем этаже – $1\,636 \pm 545,3 \text{ Бк/м}^3$, что превышало предельно допустимый уровень (ПДУ = 200 Бк/м^3) в 5,16; 9,6 и 8,2 раз соответственно. В мини-центре ЭРОА радона оставила $4\,001,6 \pm 1\,333,8 \text{ Бк/м}^3$, что выше нормы в 20 раз.

Благодаря полученным данным был сделан расчет дозовой нагрузки для учеников и персонала школы. Для расчета дозы была использована формула:

$$E = C \times F \times T \times D,$$

где C – средняя объемная активность радона в помещении (в Бк/м^3), F – коэффициент равновесия между радоном и продуктами его распада (принят равным 0,4 по данным НКДАР ООН, 2006 г.); T – время нахождения в помещении; а D – коэффициент преобразования дозы для продуктов распада радона, принятый МКРЗ ($9 \text{ нЗв} (\text{Бк} \times \text{ч} \times \text{м}^{-3})^{-1}$).

Согласно расписанию школы ученики за весь учебный период проводят в школе 1 038 часов в год, учителя – 1 960 часов в год, педагоги и дети мини-центра – 2 205 часов в год.

Результаты расчета дозовой нагрузки показали, что средняя дозовая нагрузка для учеников составляет 5,7 мЗв, а для учителей – 10,8 мЗв. Наибольшая дозовая нагрузка приходится на детей мини-центра и их педагогов, данная нагрузка равна 31,8 мЗв.

По данным НКДАР ООН (Источник и действие ионизирующего излучения: Нью-Йорк, США, 2000) среднемировое значение годовой эффективной дозы составляет 1,15 мЗв от радона и продуктов его распада. Исходя из этого, стоит отметить, что полученные нами дозовые нагрузки превышают мировое значение в 4,9 раз для учеников; в 9,4 раз для учителей и в 27,7 раз для детей мини-центра и их педагогов.

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАРТ ПЛОТНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МОЩНОСТИ АМБИЕНТНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ФРЕДГОЛЬМА 1-ГО РОДА

Чижов К.А.¹, Крючков В.П.²

¹Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

²ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

kchizhov@jinr.ru

Разработан математический метод восстановления карт плотности поверхностной активности по измерениям мощности амбиентного эквивалента дозы. Соотношение между плотностью поверхностной активности и мощностью амбиентного эквивалента дозы представлено уравнением Фредгольма 1-го рода и решено численным методом с применением метода регуляризации Тихонова. Для учета влияния экранирующего эффекта зданий введена матрица видимости.

Метод применен для локализации радиоактивного загрязнения на промышленной площадке и в помещениях объекта ядерного наследия на губе Андреева. Для исследуемых областей построены карты плотности поверхностной активности ¹³⁷Cs. Получено, что площадь загрязненных участков, определяемая по предложенному методу в 2-4 раза меньше, чем площадь, определяемая по методу конверсионных коэффициентов.

Разработанный метод может быть применен для поддержки работ по дезактивации радиоактивно загрязненных территорий, в частности при реабилитации объекта ядерного наследия на губе Андреева.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

УСТАНОВЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ УРОВНЕЙ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Абрамов Ю.В., Симаков А.В., Проскуракова Н.Л., Алферова Т.М.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
fmbc@fmbamail.ru

Контрольные уровни (КУ) радиационных факторов должны устанавливаться в организациях, проводящих работы с техногенными источниками излучения. При установлении КУ следует исходить из принципа оптимизации с учетом:

- неравномерности радиационного воздействия во времени;
- целесообразности сохранения уже достигнутого уровня радиационного воздействия на данном объекте ниже допустимого;
- эффективности мероприятий по улучшению радиационной обстановки.

Для закрепления достигнутых значений параметров радиационной обстановки ниже допустимых значений, КУ устанавливаются на основе сбора, обобщения и статистического анализа результатов радиационного контроля за предыдущий период. Продолжительность такого периода не должна быть менее года.

При установлении КУ в расчет не должны приниматься все случаи повышенных значений, которые обусловлены нарушениями технологического режима, физической защиты и других единичных факторов аномального характера. Собранный массив данных, описывающий радиационную обстановку при нормальном режиме работы, подвергаются статистическому анализу.

На практике при большом числе данных плотность частотного распределения значений измеряемой величины Q можно описать логнормальным законом, характеризуемым медианным значением Q_{med} и стандартным геометрическим отклонением σ_g .

При проведении статистического анализа определяют значения медианы и стандартного геометрического отклонения в предположении соответствия распределения анализируемых данных логнормальному закону.

При обобщении данных радиационного контроля для установления КУ значение КУ рекомендуется принимать в соответствии с формулой (1):

$$КУ_F \leq Q_{med} \cdot \sigma_g^2, \quad (1)$$

где Q_{med} – медианное значение логнормального распределения результатов замеров радиационного фактора F ; σ_g – стандартное геометрическое отклонение.

При таком способе установления КУ необходимо соблюдение требования (2):

$$КУ_F + U_F \leq ДУ_F, \quad (2)$$

где $КУ_F$ – максимальное значение КУ для радиационного фактора F ; U_F – неопределенность измерения значения $КУ_F$ радиационного фактора F ; $ДУ_F$ – допустимое значение этого фактора.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ГОТОВНОСТИ АВАРИЙНЫХ МЕДИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕДИКО-САНИТАРНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ФМБА РОССИИ К АВАРИЙНОМУ РЕАГИРОВАНИЮ ПРИ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЯХ И ИНЦИДЕНТАХ

Арефьева Д.В., Грабский Ю.В., Сосницкий И.Т., Ярмийчук С.В.

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины ФМБА России,
Санкт-Петербург, Россия
niipmm@fmbamail.ru

Аварийное реагирование является одним из элементов системы обеспечения безопасности объектов использования атомной энергии. Становление и развитие атомной промышленности и энергетики сопровождалось различными по характеру, масштабам и медико-санитарным последствиям ядерными и радиационными инцидентами и авариями. С момента создания в ФМБА России специализированных медико-санитарных формирований для оказания медицинской помощи пострадавшим при радиационных авариях и по настоящее время система аварийного реагирования ФМБА России является частью сил и средств Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. В условиях современного развития атомной промышленности, перехода на замкнутый топливный цикл, необходимости ликвидации накопленного ядерного наследия и расширения хозяйственной деятельности в Арктической зоне Российской Федерации, созданная система аварийного реагирования ФМБА России требует дальнейшего развития и совершенствования.

В работе рассмотрены направления повышения готовности аварийных медико-дозиметрических центров, специализированных медико-санитарных формирований учреждений и организаций ФМБА России к аварийному реагированию при радиационных авариях и инцидентах:

- научно-методическое обоснование состава сил и средств ФМБА России для выполнения мероприятий по аварийному реагированию и ликвидации медико-санитарных последствий радиационных аварий;

- организация взаимодействия учреждений и организаций ФМБА России при мониторинге и оценке радиационной обстановки;

- разработка оптимальных схем и регламентов взаимодействия учреждений и организаций ФМБА России при выполнении мероприятий аварийного реагирования и ликвидации медико-санитарных последствий радиационных аварий и инцидентов, при проведении радиационно-гигиенических и лечебно-эвакуационных мероприятий;

- совершенствование информационно-аналитического обеспечения деятельности учреждений и организаций ФМБА России, экспертной поддержки принятия управленческих решений при выполнении мероприятий аварийного реагирования и ликвидации медико-санитарных последствий радиационных аварий и инцидентов;

- разработка требований к оснащению и программ подготовки специалистов медицинских организаций ФМБА России по вопросам поддержания противоаварийной готовности и ликвидации медико-санитарных последствий радиационных аварий и инцидентов.

Приведены основные результаты исследований, проводимых с целью совершенствования системы аварийного реагирования ФМБА России при радиационных авариях и инцидентах на обслуживаемых предприятиях и территориях в зоне ответственности Северо-Западного регионального аварийного медико-дозиметрического центра.

РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СТАРЧЕСКОЙ КАТАРАКТОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК», ПОДВЕРГШИХСЯ ХРОНИЧЕСКОМУ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

Брагин Е.В., Азизова Т.В., Григорьева Е.С.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Цель работы состояла в оценке риска развития различных типов катаракты в зависимости от дозы пролонгированного внешнего облучения с учетом нейтронного облучения и нерадиационных факторов.

Изучаемая когорта включала всех работников производственного объединения (ПО) «Маяк», впервые нанятых на один из основных заводов в период с 1948 по 1982 гг. – 22 377 человек. Из исследования были исключены работники, подвергшиеся острому облучению гамма- и нейтронным излучением высокой мощности, приведшему к развитию острой лучевой болезни (43 работника) и 1 274 работника, у которых отсутствовала медицинская информация.

В настоящем анализе учитывались все впервые установленные случаи старческой катаракты (в зависимости от морфологического типа) за весь период наблюдения. Период наблюдения за когортой начинался от даты найма на предприятие и продолжался до: даты установления диагноза старческая катаракта; даты смерти; 31 декабря 2008 г. для живых работников, проживающих в г. Озерске; даты «последней медицинской информации» для работников с неизвестным жизненным статусом и для тех работников, кто выехал из г. Озерска.

В исследовании использованы поглощенные дозы внешнего гамма-излучения и нейтронного излучения дозиметрической системы работников ПО «Маяка» – 2008 («ДСРМ–2008»). Средняя суммарная поглощенная доза внешнего гамма-излучения составила $0,72 \pm 0,01$ Гр. Средняя суммарная поглощенная доза нейтронного излучения составила $0,002 \pm 0,0048$ Гр.

Результаты анализа зависимости «доза-эффект» на основе линейной модели показали повышенный риск заболеваемости всеми типами катаракты: кортикальной, задней субкапсулярной и ядерной. Избыточный относительный риск на единицу дозы (ИОР/Зв) составил 0,28 (95 % ДИ 0,20; 0,37) для всех типов катаракты, 0,63 (95 % ДИ 0,49; 0,76) для кортикальной катаракты, 0,91 (95 % ДИ 0,67; 1,20) для задней субкапсулярной катаракты и 0,47 (95 % ДИ 0,35; 0,60) для ядерной катаракты. Исключение поправки на дозу нейтронного облучения приводило к снижению ИОР/Зв внешнего облучения гамма-излучения для всех типов катаракт (кортикальная – 0,56 (95 % ДИ 0,45; 0,70); задняя субкапсулярная катаракта – 0,86 (95 % ДИ 0,64; 1,13); ядерная – 0,47 (95 % ДИ 0,35; 0,60)). Оценка риска заболеваемости катарактой незначительно менялась при включении поправок на нерадиационные факторы риска.

Установлена статистически значимая линейная зависимость заболеваемости старческой катарактой и отдельными ее типами от суммарной дозы внешнего облучения гамма-излучением с учетом поправок на нерадиационные факторы и дозу нейтронного облучения.

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Брикс К.В., Банникова М.В., Азизова Т.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Цель работы состояла в оценке риска заболеваемости артериальной гипертензией (АГ) в когорте работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению.

Изучаемая когорта – работники первого в России предприятия атомной промышленности – ПО «Маяк» (22 377 человек), впервые нанятые в 1948-1982 гг. Период наблюдения за когортой

начинался от даты найма и продолжался до даты первого из следующих событий: даты установления диагноза АГ; даты смерти; 31 декабря 2013 г. для тех, кто был жив в это время; даты «последней медицинской информации» для работников с неизвестным жизненным статусом и мигрантов (работников, выехавших из г. Озерска на другое постоянное место жительства). Жизненный статус на конец периода наблюдения известен у 95 % членов когорты; из них 62 % умерли, а 38 % живы. В настоящем исследовании использованы индивидуальные оценки доз внешнего и внутреннего облучения дозиметрической системы работников ПО «Маяк» – 2013 «ДСРМ–2013». Средняя суммарная поглощенная в печени доза внешнего облучения у мужчин составила $0,45 \pm 0,65$ Гр (среднее \pm стандартное отклонение) и у женщин – $0,37 \pm 0,56$ Гр; средняя суммарная поглощенная в печени доза внутреннего облучения составила $0,23 \pm 0,65$ Гр и $0,44 \pm 1,93$ Гр соответственно. Анализ включал расчет относительных рисков (ОР) и избыточного относительного риска на единицу дозы (ИОР/Гр) с помощью Пуассоновской регрессии с использованием модуля AMFIT программы EPICURE. Избыточный относительный риск (ИОР), т. е. риск минус 1, описывался с помощью линейного тренда от дозы внешнего облучения с поправкой (с помощью стратификации) на нерадиационные факторы и дозу внутреннего облучения, а также от дозы внутреннего облучения с поправкой на нерадиационные факторы и дозу внешнего облучения. 95%-ные доверительные интервалы (ДИ) и статистическая значимость (p) были рассчитаны с помощью методов максимального правдоподобия. Все критерии статистической значимости были двусторонними. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

На конец периода наблюдения в изучаемой когорте работников было верифицировано 8 425 случаев АГ (5 745 у мужчин и 2 680 у женщин). Показано, что заболеваемость АГ в изучаемой когорте работников зависела от достигнутого возраста, возраста и календарного периода найма на предприятие, календарного периода установления диагноза, продолжительности работы, статуса курения, индекса массы тела, и не зависела от типа производства. Установлена статистически значимая линейная зависимость заболеваемости АГ от суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-излучения; ИОР/Гр составил 0,14 (95 % ДИ: 0,09; 0,20). Несмотря на то, что риск заболеваемости АГ возрастал с увеличением достигнутого возраста, не выявлено статистически значимой зависимости ИОР/Гр от достигнутого возраста ($p = 0,28$). Показано, что заболеваемость АГ не зависела от суммарной поглощенной в печени дозы внутреннего облучения альфа-излучением; ИОР/Гр внутреннего облучения альфа-излучением составил – 0,01 (95 % ДИ: n/a; 0,052).

Установлена статистически значимая линейная зависимость заболеваемости АГ от суммарной дозы внешнего гамма-излучения с учетом поправок на нерадиационные факторы (индекс курения, индекс массы тела и продолжительность работы) и дозу внутреннего альфа-излучения.

РИСК РАЗВИТИЯ РАКА ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У НАСЕЛЕНИЯ, ПОСТРАДАВШЕГО ОТ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

Веялкин И.В., Никонович С.Н., Панкова С.В., Захарова О.Н., Овчинникова О.П.

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь
veyalkin@mail.ru

Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) была наиболее масштабной радиационно-экологической катастрофой, которая сопровождалась массивным выбросом радиоактивного изотопа йода, который попал в организм большей части населения Республики Беларусь. Целью данной работы было провести эпидемиологический анализ заболеваемости раком щитовидной железы (РЩЖ) в Республике Беларусь и оценить риск развития данного заболевания в различных группах пострадавшего населения за период с 1986 по 2020 гг.

Проведенный анализ выявил интенсивный рост показателей заболеваемости (CR) РЩЖ у населения республики Беларусь после аварии на ЧАЭС, который прекратился после 2001 г. ($CR_{1986} = 1,5 \pm 0,24$; $CR_{2001} = 10,3 \pm 0,63$; $CR_{2015} = 12,5 \pm 0,71$; $CR_{2020} = 12,8 \pm 0,72$). Рост заболеваемости был особенно выражен в Гомельской, Могилевской и Брестской областях. Показано, что максимальное увеличение заболеваемости отмечалось у лиц в возрасте 0-4 года на момент аварии.

Полученные в результате научно-исследовательской работы данные о риске развития РЩЖ однозначно свидетельствуют о причинной связи с облучением в результате катастрофы на ЧАЭС. Риск РЩЖ у пострадавшего населения стал превышать популяционный уже в первые годы после аварии и достиг своего максимума в 1995-1999 гг. (в 12,6 раз выше у населения, эвакуированного из зоны отчуждения). Максимальный риск отмечался у лиц, которые были детьми на момент аварии (риск превышал популяционный в 25 раз в 1995-1999 гг.). В 2016-2020 гг. риск РЩЖ остается выше популяционного (в 1,5-2,0 раза) во всех группах пострадавшего населения за исключением потомков пострадавшего населения. В то же время следует отметить, что в 2016-2020 гг. превышение риска РЩЖ над популяционным стало уже статистически незначимым, в отличие от предыдущего периода 2010-2015 гг. Максимально высокий риск отмечается у эвакуированных лиц, особенно у тех, кто был на момент аварии в возрасте до 9 лет – в 8,0 раз выше популяционного. Количество выявленных случаев в 2016-2020 гг., в когорте пострадавшего населения составило 99 случаев (что ниже на 50 случаев, чем за период с 2010-2015 гг.). Следует отметить, что РЩЖ является заболеванием с наибольшей частотой устанавливаемой причинной связи с катастрофой на ЧАЭС (70 % от всех связанных заболеваний), ввиду доказанной связи с радиационным фактором (воздействие короткоживущего изотопа йода). Для данного заболевания устанавливаются категории граждан, указанные в статье 13, абзацах втором и третьем статьи 14, статье 15, т. е. все лица, на которых распространяется действие закона о социальной защите. РЩЖ связан с воздействием изотопов радиоактивного йода, в связи с чем обязательным условием для установления связи является проживание (работа) в период с 26 апреля 1986 г. по 30 августа 1986 г. на территории, загрязненной радионуклидами (в связи с катастрофой на ЧАЭС) или проживание (работа) на территории радиоактивного загрязнения первые 80 суток после радиационной аварии (период полного распада изотопа ^{131}I).

Таким образом, в популяции отмечается стабилизация показателей заболеваемости РЩЖ и снижение его риска в категориях населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС.

ОЦЕНКА РИСКА РАЗВИТИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ КРОВИ И ЛИМФАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ У НАСЕЛЕНИЯ, ПОСТРАДАВШЕГО ОТ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

Веялкин И.В., Никонович С.Н., Панкова С.В., Захарова О.Н., Овчинникова О.П.

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь
veyalkin@mail.ru

Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) была наиболее масштабной радиационно-экологической катастрофой, которая сопровождалась массивным выбросом радиоактивных элементов, которые могли негативно повлиять на систему кроветворения, как одну из наиболее чувствительных к воздействию радиации. Целью данной работы было провести эпидемиологический анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями крови и лимфатической системы (ЗНК) в Республике Беларусь и оценить риск развития данного заболевания в различных группах пострадавшего населения за период с 1986 по 2020 гг.

Проведенный анализ не выявил резкого роста заболеваемости (CR) ЗНК у населения республики Беларусь в период с 1986 по 2020 гг. Заболеваемость лейкозами выросла с $6,11 \pm 0,49$ до $8,75 \pm 0,6$ на 100 000 населения ($p < 0,05$). Заболеваемость лимфомой Ходжкина (ЛХ) практически не изменилась $CR_{1986} = 2,33 \pm 0,30$ и $CR_{2020} = 2,33 \pm 0,31$ на 100 000 населения

($p > 0,05$). Наиболее выражен был рост заболеваемости неходжкинскими лимфомами (НХЛ) с $CR_{1986} = 2,8 \pm 0,33$ и $CR_{2020} = 8,33 \pm 0,58$ на 100 000 населения ($p < 0,05$).

В результате проведенного когортного исследования отмечен высокий риск острого лимфобластного лейкоза у участников ликвидации катастрофы на ЧАЭС, находившихся в зоне эвакуации свыше 10 суток в 2,4 (1,15-4,41) раза в 2005-2009 гг. и у потомков пострадавшего населения в 4,4 (2,01-8,33) раза (максимально высокий риск в 7,3 (1,51-21,38) раза отмечался у потомков, рожденных в первые 5 лет после аварии; высокий риск (в 1,7 (1-2,75) раза выше популяционного) острого миелобластного лейкоза для участников ликвидации последствий аварии 1986 г., находившихся в зоне эвакуации больше 10 суток, был установлен в 2010-2015 гг., а при индивидуализированной накопленной дозе на костный мозг и окружающую костную ткань свыше 150-299 мЗв – в 4,3 (1,39-9,97) раза. У потомков пострадавшего населения риск был выше в 4,9 (1,01-14,37) раза (максимально высокий риск (в 10,0 (1,21-36,12) раза отмечался у потомков, рожденных через 5-9 лет после аварии). Риск развития хронического миелоидного лейкоза (ХМЛ) у участников ликвидации и их потомков на протяжении всего периода наблюдения был выше популяционного уровня в 1,58 (1,3-1,91) и 4,14 (1,13-10,6) соответственно. Высокий риск отмечался в основном у участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, проводивших в зоне эвакуации свыше 10 суток. В 2016-2020 гг. риск ХМЛ у участников ликвидации составлял 2,0 (1,22-3,09). Нами был показан высокий риск (в 1,25 (1,09-1,42) раза) хронического лимфоцитарного лейкоза (ХЛЛ) у участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Максимальный риск (в 1,4 (1,07-1,8) раза) отмечался у них в 2000-2004 и 2010-2015 гг. В первые годы (1987-1990 гг.) было отмечено 17,2 (5,6-40,24)-кратное превышение риска ХЛЛ у эвакуированного населения, что может быть связано с эффектом скринингового обследования. За период с 1986 по 2020 гг. было установлено 160 случаев множественной миеломы (ММ), из которых 115 – у участников ликвидации, что было (в 1,2 (1,0-1,44)) выше, чем в популяции. Риск был повышен у мужчин-ликвидаторов, которые выполняли работы в 1986 г. (в 1,6 (1,01-2,35) раза), а у женщин, кто работал в 1987 г. (в 4,9 (1,01-14,37) раза). Установлена зависимость риска ММ участников ликвидации последствий катастрофы от плотности загрязнения ^{137}Cs . У лиц, выполнявших работы на территории с плотностью загрязнения 40 Ки/км² и выше (в 2,3 (1,14-4,07) раза), у участников с ИД на костный мозг свыше 100 мЗв (в 2,27 (1,14-4,07) раза). Риск развития ЛХ у участников ликвидации последствий катастрофы был повышен в 2000-2004 гг. (1,8 (1,05-2,8)) и в 2010-2015 гг. (у участников ликвидации последствий 1986 г. в 2,28 (1,28-3,76)). Повышенного риска НХЛ отмечено не было ни в одной из групп пострадавшего населения, за исключением некоторых возрастных групп в отдельные промежутки времени.

ОЦЕНКА РИСКА РАЗВИТИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ СОЛИДНОЙ ПРИРОДЫ У УЧАСТНИКОВ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС И ЭВАКУИРОВАННОГО НАСЕЛЕНИЯ

Вейалкин И.В., Никонович С.Н., Панкова С.В., Захарова О.Н., Овчинникова О.П.

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь
veyalkin@mail.ru

Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) была наиболее масштабной радиационно-экологической катастрофой, которая сопровождалась массивным выбросом радиоактивных элементов, которые могли способствовать развитию злокачественных новообразований. По данным НКДАР, данные нозологические формы, за исключением рака щитовидной железы, не имеют доказанной связи с катастрофой на ЧАЭС, однако для ряда нозологий связь с аварией на ЧАЭС у ликвидаторов и эвакуированных устанавливается. В связи с чем целью данной работы было оценить риск развития злокачественных новообразований солидной природы (кроме рака щитовидной железы) в различных группах пострадавшего населения в Республике Беларусь.

Проведенные нами исследования показали, что для рака желудка (РЖ), ободочной кишки (РОК), бронхов и легких (РЛ), молочной железы (РМЖ), почки (РП), мочевого пузыря (РМП) за период с 1986 по 2020 гг. статистически значимых отличий риска от популяционного не отмечали ни в одной из групп первичного учета населения. Однако для отдельных категорий был показан статистически значимый риск. Для РЖ повышенный риск отмечался у ликвидаторов 1986 г. через 15-20 лет после катастрофы в 1,2 (1,03-1,33) раза, особенно у лиц, находившихся на территориях с высокой плотностью загрязнения (в 1,4 (1,08-1,7) раза). У эвакуированного населения риск РЖ был повышен в первые 5-10 лет после катастрофы у лиц в возрасте 50-55 лет (в 6,5 (2,39-14,2) раза). В целом за весь период наблюдения в исследуемых группах риск был ниже популяционного (0,89 (0,78-1,02)). Для РОК повышенный риск отмечали у ликвидаторов через 15-20 лет после катастрофы в 1,3 (1,1-1,54) раза, особенно у лиц, находившихся на территориях с высокой плотностью загрязнения (в 1,6 (1,07-2,26) раза), и в возрасте 40-44 года на момент аварии (в 2,2 (1,47-3,24) раза). У эвакуированного населения риск РОК был повышен в первые 10-15 лет у облученных в молодом возрасте 25-29 лет на момент аварии (в 22,2 (2,69-80,27) раза) и в 2010-2015 гг. у лиц, облученных в возрасте 15-19 лет (в 8,3 (1,01-30,1) раза). В целом, за весь период наблюдения в исследуемых группах риск был значимо ниже популяционного (0,78 (0,68-0,90)). Для РЛ повышенный риск отмечался у ликвидаторов, облученных в возрасте 18-19 лет (в 2,5 (1,19-4,57) раза). У эвакуированного населения риск РЛ был повышен в первые 5-10 лет у облученных в возрасте 50-54 года на момент аварии (в 3,1 (1,13-6,73) раза). В целом, за весь период наблюдения в исследуемых группах риск был значимо ниже популяционного (0,82 (0,74-0,90)). Для РМЖ повышенный риск отмечался у ликвидаторов, облученных в молодом возрасте 20-24 года, через 20-25 лет после катастрофы (в 1,9 (1,06-3,24) раза). В этот период отмечался высокий риск развития РМЖ у ликвидаторов мужчин (в 2,7 раза). У эвакуированного населения риск РМЖ был повышен в первые 5-10 лет, у лиц с высокой поглощенной дозой облучения в щитовидной железе (в 5,1 (1,4-13,13) раза). В целом за весь период наблюдения в исследуемых группах риск был ниже популяционного (0,86 (0,75-1,06)). Для РП повышенный риск отмечался у ликвидаторов, за весь период (в 1,1 (1,02-1,21) раза), при нахождении в зоне отчуждения свыше 10 дней. В целом, за весь период наблюдения в исследуемых группах риск был значимо ниже популяционного (0,73 (0,62-0,87)). Для РМП повышенный риск отмечался у ликвидаторов, облученных в молодом возрасте 25-29 лет, (в 1,4 (1,03-1,88) раза) и в целом через 15-20 лет после катастрофы (в 1,2 (1-1,49) раза). Риск увеличивался в зависимости от длительности нахождения в зоне отчуждения до 1,3 (1,05-1,64) раза и был максимален у облученных в возрасте 55-59 лет (в 1,9 (1,27-2,84) раза). В целом за весь период наблюдения в исследуемых группах риск был сопоставим с популяционным (0,94 (0,79-1,12)). Таким образом, для данных нозологий не было отмечено превышение риска в исследуемых когортах пострадавшего населения.

**ПИЛОТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО
ВЛИЯНИЯ МИРНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА НА ТЕРРИТОРИЮ
ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Ганина А.М., Бахтин М.М., Кашкинбаев Е.Т., Казымбет П.К.

Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

anastassiya_smelova@mail.ru

Начало практической работы по использованию ядерных взрывов в мирных целях в СССР связано с целевой Программой № 7 «Ядерные взрывы для народного хозяйства», принятой в 1962 г. За период 1965-1988 гг. на территории бывшего СССР было осуществлено 124 ядерных взрыва в мирных целях, в том числе 39 на территории Республики Казахстан (РК). Все ядерные взрывы, проводившиеся на территории РК, осуществлены под землей. По различным причинам в РК не передана горно-геологическая, геофизическая и другая научно-техническая

документация по объектам мирных ядерных взрывов, проведенных на территории РК. В 1973 г. на территории нынешней Туркестанской области, на границах Созакского и Отырарского районов по проекту «Меридиан» были произведены 2 подземных ядерных взрыва с мощностью 6,3 килотонны каждый. В 2018 г. в Джизакской области пограничной с РК Республики Узбекистан, началось строительство АЭС, что актуализирует мониторинговые меры со стороны РК. В соответствии с требованиями радиационной безопасности МАГАТЭ и законодательства РК вокруг объектов атомной энергетики должен проводиться радиационный мониторинг.

В этой связи учитывая близость Туркестанской области к строящейся АЭС в Узбекистане (Джизакская область), изучение данного вопроса позволит более точно и комплексно оценить радиационную обстановку данной территории на «нулевом этапе».

На первом этапе нами были проведены исследования по оценке радиационной обстановки территории Отырарского района Туркестанской области, где проводились мирные ядерные взрывы. Измерение AMBIENTНОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ проводили на расстоянии одного метра от поверхности земли. Пешеходная гамма-съемка территории проводилась по сети 500x500 м. Пешеходные измерения гамма-фона проводились дозиметрами ДКС-96, ДКС-АТ-1123, РКС-01-СОЛО. Для определения координат использовали прибор «GPS Garmin», позволяющий определять расположение точек в географической системе координат. Автомобильная гамма-съемка местности проводилась с помощью передвижной радиологической лаборатории «Гамма Сенсор», с установлением спектрального состава радионуклидов, автоматически отмечая координаты исследуемого участка. С изучаемой территории были отобраны 10 образцов почв. Образцы почв были отобраны глубинно, согласно ГОСТ 17.4.3.01-83. «Почвы. Общие требования к отбору проб».

В результате проведения радиологических замеров установлено, что значение мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ на территории Отырарского района Туркестанской области (примерно в 30 км к западу от районного центра, села Шаульдер) варьирует в пределах от 0,09 мкЗв/час до 0,15 мкЗв/час, при допустимом уровне 0,2 мкЗв/час + естественный гамма-фон местности 0,05 мкЗв/ч.

В условиях испытательной лаборатории радиохимии и радиоспектротрии Института радиобиологии и радиационной защиты были определены значения удельной активности радионуклидов в образцах почвы (Бк/кг), которые составляют: $^{40}\text{K} - 183,6 \pm 165,0$, $^{226}\text{Ra} - 14,5 \pm 9,3$, $^{137}\text{Cs} - 11,6 \pm 7,8$, $^{232}\text{Th} - 22,5 \pm 16,1$. Данные значения не превышают среднереспубликанских значений содержания естественных радионуклидов в почве, которые составляют: $^{40}\text{K} - 300$ Бк/кг, $^{226}\text{Ra} - 35$ Бк/кг, $^{232}\text{Th} - 60$ Бк/кг.

На втором этапе планируется анализ имеющихся данных по содержанию радионуклидов в подземных водах данного региона, отбор образцов воды и определение концентрации радионуклидов для оценки возможных путей миграции радионуклидов.

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ МЕДИКАМЕНТОЗНЫХ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ И РАННЕЙ ЭКСТРЕННОЙ ТЕРАПИИ РАДИЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Гладких В.Д., Филин К.Н., Баландин Н.В.

ФГУП Научно-производственный центр «Фармзащита» ФМБА России,

г. Химки, Московская обл., Россия

gladkich2007@rambler.ru

Для профилактики и лечения различных нозологических состояний, сопровождающих реализацию эффектов радиационного воздействия, к настоящему времени разработан, апробирован и рекомендован к практическому применению широкий перечень противолучевых лекарственных средств (ПЛС) различного механизма действия. В работе рассматриваются основные вехи становления отечественной радиационной фармакологии и системы противолучевой медикаментозной защиты. Приводится сравнительная характеристика ПЛС из

числа радиопротекторов, радиомитигаторов, средств профилактики и купирования поражений от облучения инкорпорированными радионуклидами и первичной реакции на облучение, производимых и разрешенных к применению на территории Российской Федерации (РФ).

С учетом эффективности и переносимости рассматриваемых ПЛС, выделены «уязвимые» места в существующей системе медикаментозной профилактики и ранней экстренной терапии радиационных поражений: отсутствие средств длительной стимуляции радиорезистентности организма от поражающих доз радиации, эффективных средств защиты от отдаленных последствий воздействия ионизирующего излучения, малотоксичных препаратов, способных выводить из организма инкорпорированные радионуклиды трансурановых элементов.

На основании мониторинга научных исследований можно констатировать, что вектор научно-технологических разработок ПЛС за рубежом в целом совпадает с направлениями совершенствования средств противорадиационной защиты, проводимых в РФ.

К перспективным направлениям создания ПЛС относятся:

– разработка инновационных стимуляторов радиорезистентности и препаратов для связывания и выведения инкорпорированных радиоизотопов из организма;

– отбор потенциальных ПЛС среди лекарственных препаратов общемедицинского применения и расширение их клинических показаний;

– разработка радиозащитных рецептур, позволяющих потенцировать противолучевой эффект, снизить токсичность, купировать побочные эффекты, получить полифункциональные препараты, сочетающие свойства радиопротекторов, радиомитигаторов, средств лечения острой лучевой болезни;

– проведение экспериментально-клинических исследований по созданию новых лекарственных форм ПЛС и способов их введения в организм с целью повышения биодоступности, пролонгации противолучевого эффекта, снижения побочных эффектов.

При разработке инновационных радиозащитных средств (и их дальнейшей регистрации в качестве лекарственных препаратов) актуализируется значимость установления новых «биомишеней», фармакологическое воздействие на которые приводит к повышению радиорезистентности, и выявление верифицированных фармакологических маркеров радиомодифицирующего действия потенциальных ПЛС.

В нашей стране к наиболее перспективным инновационным разработкам ПЛС относятся препараты на основе обратимых субстрат-подобных ингибиторов NO-синтазы в ряду S-[2-алкил(арил)сульфонил]-производных S-этил(винил)-изотиомочевин (разработчик – МРНЦ им. А.Ф. Цыба), рекомбинантный флагеллин – аналог американского EntolimodTM (ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Институт экспериментальной медицины), водорастворимая лекарственная форма 5-андростендиола (разработчик – НПЦ «Фармзащита»).

В заключении рассматриваются приоритетные направления оптимизации сложившейся в Российской Федерации системы медикаментозной противолучевой защиты и основные условия для решения стоящих задач.

МОДИФИКАЦИЯ РАДИОГЕННОГО РИСКА СМЕРТНОСТИ ОТ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ РАДИАЦИОННО ОПАСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НЕРАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Григорьева Е.С., Банникова М.В., Брикс К.В., Азизова Т.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Цель работы: оценить модификацию радиогенного риска смертности от некоторых болезней системы кровообращения (БСК) в когорте работников радиационно опасного предприятия в зависимости от нерадиационных факторов.

Исследование проведено в когорте работников производственного объединения (ПО) «Маяк» (22 377 человек, 25,4 % женщины), которые были наняты на предприятие в 1948-1982 гг. и наблюдались до 31 декабря 2018 г., а также в субкогорте работников, проживавших в г. Озерске (резиденты), и в субкогорте тех работников, которые покинули г. Озерск (мигранты).

В исследовании использованы сведения о профессиональных маршрутах и оценки поглощенных в печени доз внешнего и внутреннего облучения из «Дозиметрической системы работников ПО «Маяк» – 2013». Средняя суммарная доза внешнего облучения (гамма-излучение) составила 0,45 Гр у мужчин и 0,37 Гр у женщин. Средняя суммарная доза внутреннего облучения (альфа-излучение) – 0,18 Гр у мужчин и 0,40 Гр у женщин. Данные о жизненном статусе, перенесенных заболеваниях, причинах смерти и нерадиационных факторах получены из медико-дозиметрической базы данных «Клиника». К концу периода наблюдения 67,2 % членов когорты умерли.

Изучаемыми эффектами были различные типы БСК. Выполнен анализ зависимости «доза-ответ» с оценкой избыточного относительного риска (ИОР) на единицу дозы внешнего или внутреннего облучения (Гр) на основе линейной модели с поправкой (с помощью стратификации) на нерадиационные факторы (пол, достигнутый возраст, календарный период, статус курения и употребления алкоголя) и дозу внутреннего облучения при анализе внешнего и наоборот. Изучена модификация риска смертности от некоторых БСК в зависимости от нерадиационных факторов. К концу периода наблюдения в когорте работников ПО «Маяк» были зарегистрированы 6 019 смертей от БСК в течение 890 132 человеко-лет наблюдения.

Не выявлено статистически значимых зависимостей рисков смертности от отдельных типов БСК от внешнего и внутреннего облучения ни в когорте, ни в субкогортах резидентов или мигрантов (ни для мужчин, ни для женщин). Исключение составили: зависимость смертности от ишемического инсульта мужчин-резидентов от суммарной дозы внешнего облучения с поправкой на дозу внутреннего облучения и зависимость смертности от БСК (при анализе всей когорты и субкогорты резидентов) и ишемической болезни сердца (ИБС) (при анализе когорты) у женщин от суммарной дозы внутреннего облучения с поправкой на дозу внешнего облучения.

При анализе риска смертности от внешнего облучения исключение и включение в модель дополнительных поправок на нерадиационные факторы изменяли лишь величину риска и доверительные интервалы, которые становились шире, но не статистическую значимость, за исключением поправки на индекс массы тела в анализе ИБС у мужчин-резидентов, которая повышала ИОР/Гр на 116 %, и поправки на возраст найма в анализе ИБС и острой коронарной недостаточности (ОКН) у женщин-резидентов, которая приводила к существенному (в 3 раза) увеличению рисков.

При анализе риска смертности от внутреннего облучения лишь у женщин-резидентов включение поправки на индекс массы тела, сахарный диабет, продолжительность работы, возраст найма привели к существенному увеличению оценок риска смертности от ИБС (на 59, 59, 28 и 200 % соответственно), которые стали статистически значимыми. Кроме этого, у женщин включение в модель дополнительной поправки на сахарный диабет приводило к существенному увеличению риска смертности от ОКН (в 2,6 раза) и риск становился статистически значимым.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ УМНЫХ ГОРОДОВ

Елекеев Е.М

ИЯТШ НИ ТПУ, г. Томск, Россия

erbol.elekeev@mail.ru

Повышение уровня открытости коммуникаций за счет передачи информации на цифровые носители не только создает новые возможности во всех сферах социальной практики, но и требует разработки новых подходов к обеспечению необходимого уровня энергетической

безопасности на объектах использования атомной энергии умных городов. Поэтому представляется целесообразным разрабатывать новые программы и совершенствовать существующие механизмы обеспечения безопасности на объектах использования атомной энергии в умных городах.

Цель исследования – разработка эффективных механизмов обеспечения безопасности умных атомных городов в условиях цифровой трансформации.

Исследование проводилось с получением количественных оценок радиационного риска, а также принятием мер по снижению риска и предотвращению последствий аварий с использованием цифровых технологий.

Авторами были проанализированы начальные данные и условия, необходимые для целесообразного применения цифровой трансформации в условиях обеспечения безопасности на объектах использования атомной энергии.

ФАКТОРЫ РИСКА РАКА ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Жунтова Г.В., Азизова Т.В., Банникова М.В.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
clinic@subi.su

Рак поджелудочной железы (РПЖ) характеризуется неблагоприятным прогнозом. В последние десятилетия отмечается тенденция к росту заболеваемости РПЖ, а данные о влиянии ионизирующего излучения на возникновение опухолей этой локализации неоднозначны.

Цель настоящего исследования – оценка влияния профессионального облучения и нерадиационных факторов на риск заболеваемости РПЖ у работников предприятия атомной промышленности.

Исследование выполнено в когорте работников, нанятых на основные заводы производственного объединения «Маяк» в 1948-1982 гг. Численность изучаемой когорты – 22 377 человек (25 % женщины), период наблюдения ограничен 31 декабря 2013 г. Оценки доз профессионального облучения получены на основании «Дозиметрической системы работников ПО «Маяк» – 2013». Анализ относительного риска (ОР) заболеваемости РПЖ и избыточного относительного риска на единицу поглощенной в печени дозы внешнего (гамма-излучение) и внутреннего (альфа-излучение) облучения (ИОР/Гр) был выполнен на основе регрессии Пуассона с помощью модуля AMFIT программы EPICURE. Оценки ИОР/Гр получены с учетом нерадиационных факторов (пол, достигнутый возраст, статус курения). При расчете ИОР/Гр от внешнего облучения, вносилась поправка на дозу внутреннего облучения, и наоборот.

В исследование включено 107 случаев РПЖ (86 случаев у мужчин и 21 случай у женщин). Информация о строении опухолей была доступна для 76 человек (71,0 %). В остальных случаях гистологическое исследование не проводилось, либо не сохранились его результаты, но РПЖ был обнаружен во время операции или визуализирован с помощью инструментальных методов (компьютерная томография, ультразвуковое исследование), и имелась типичная клиническая картина заболевания.

В изучаемой когорте риск заболеваемости РПЖ был статистически значимо выше у мужчин по сравнению с женщинами – ОР = 2,99 (90 % ДИ 2,02-4,55) и увеличивался у лиц старше 50 лет (по отношению к возрастной категории 40-50 лет). Наиболее высокий риск заболеваемости РПЖ выявлен у лиц старше 70 лет – ОР = 12,29 (90 % ДИ 7,12-22,44).

Риск заболеваемости РПЖ был выше у курильщиков по отношению к тем, кто никогда не курил – ОР = 1,50 (90 % ДИ 1,01-2,40), а при величине индекса курения более 20 пачка × лет составлял ОР = 1,73 (90 % ДИ 1,05-2,99). У работников, злоупотреблявших алкоголем, оценка риска РПЖ была выше по сравнению с теми, кто употреблял алкоголь редко, но не являлась статистически значимой – ОР = 1,25 (90 % ДИ 0,76-2,07).

Некоторое увеличение риска заболеваемости РПЖ обнаружено у работников, страдавших хроническим панкреатитом, язвенной болезнью желудка, хроническими заболеваниями желчного пузыря, у лиц с избыточной массой тела и ожирением (индекс массы тела ≥ 25 кг/м²), однако величина ОР не достигала уровня статистической значимости.

Результаты анализа зависимости риска РПЖ от доз профессионального облучения (линейная модель) были следующими: внешнее облучение – ИОР/Гр = 0,25 (90 % ДИ 0,08-0,79); внутреннее облучение – ИОР/Гр = 1,19 (90 % ДИ 0,36-2,56).

Таким образом, риск заболеваемости РПЖ в изучаемой когорте, как и в общей популяции, зависел от пола и возраста работников, статуса и величины индекса курения. Влияния пролонгированного общего внешнего облучения на риск заболеваемости РПЖ не выявлено. Требуется расширение когорты исследования для уточнения оценок ИОР/Гр РПЖ от внутреннего облучения, обусловленного инкорпорацией плутония.

К ПРОБЛЕМЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ОБЛУЧЕНИЯ В СРЕДНИХ ДОЗАХ: АРГУМЕНТЫ «ЗА» И «ПРОТИВ»

Иванченко А.В.,¹ Башарин В.А.,² Драчев И.С.,¹ Селезнев А.Б.¹

¹Государственный научно-исследовательский испытательный институт
военной медицины МО РФ, г. Санкт-Петербург, Россия

²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия
gniiivm_2@mail.ru

Проблема фармакологической защиты при облучении в средних дозах (от 0,2 Гр до 1 Гр) довольно актуальна, о чем свидетельствует опыт ликвидации последствий радиационной аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС в 1986-1988 гг.; предусмотрено нормативными документами как планируемое повышенное облучение; характеризуется протяженностью. При ЛПА значительные контингенты могут подвергаться данному виду облучения, облучение может комбинироваться с нерадиационными факторами и определять развитие тканевых реакций при превышении пределов доз (отчасти преморбидного или доклинического уровня и с выраженными психогенными реакциями – компонентами итогового состояния), а также стохастических эффектов сверх спонтанных.

Повышенный интерес в 80-90-е гг. XX века к противолучевым средствам (ПЛС) при среднедозовом маломощном облучении привел к оформлению группы препаратов как «средств биологической защиты», «радиомодификаторов», «стимуляторов радиорезистентности» и др. Предполагается, что целевое применение таких средств участниками ЛПА может рассматриваться как фактор, обеспечивающий не только радиомодифицирующий эффект, но и «нерадиологический эффект» (эффект placebo). Однако в принятой в России классификации профилактических ПЛС отсутствует ниша для средств такого назначения. В связи с этим не определены требования к препаратам, применение которых могло бы рассматриваться в связи с названными условиями.

Перспективы разработки подобных средств, с одной стороны, определяются возможностями фармакологического влияния на процессы, отражающие немишенное действие излучений, и влияния на репаративные процессы, связанные с мишенными эффектами. Различие механизмов предполагает возможность применения фармакологически активных веществ с разными свойствами, выступающих в качестве ПЛС.

Общая тенденция в исследованиях прошлых лет по поиску ПЛС, действующих по различным патогенетическим механизмам радиационных эффектов маломощного облучения в средних дозах, сохраняется (антиоксиданты, иммуномодуляторы и т. п.), при этом не найдены основания для замены существующих препаратов (витаминно-аминокислотные комплексы, адаптогены, рибоксин). В настоящее время перечень исследуемых веществ сократился, что отражает масштабы работ в России и в мире, а также переход к более избирательно действующим веществам (генистеин, мелатонин, экдистерон, токоферол и пр.).

Позиционированы новые вещества (методы), ориентированные на вновь установленные немишенные радиационные эффекты, хотя и весьма небольшого списка (экспрессия эндогенных антиоксидантов посредством введения их трансгенов *in vivo*, α -пифитрин и др.). Преобладают экспериментальные исследования без прогнозных оценок исследуемых веществ по отношению к человеку. Новые направления профилактики стохастических эффектов обозначены, однако, лишь в рамках теории, до практики применения – неопределенное время в связи с высокотехнологичным дорогостоящим производством генноинженерных продуктов. Технологии контроля радиационных эффектов и их модификации в целом доступны, хотя и дороги. Одной из проблем прогнозирования радиозащитной эффективности ПЛС является слабая разработанность методов установления корреляций показателей повышенной радиорезистентности (без облучения) с собственно противолучевым эффектом.

Баланс оценок целесообразности и возможности применения ПЛС при облучении в средних дозах зависит от научно-практических предпосылок и от приоритета в общественно-политических установках (экономические или этические соображения).

**РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ
ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА**

Карев А.Е., Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Ганцовский П.П., Комаров А.Ю, Гуревич А.В.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
karev17@gmail.com

В докладе представлены результаты исследований физико-химических характеристик радиоактивных аэрозолей, образующихся в воздухе рабочей зоны при производстве смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива (дисперсный состав, нуклидный состав, тип соединения при ингаляции, элементный состав, реакционные свойства в воздушной среде). С учетом данных характеристик рассчитаны дозовые коэффициенты и ожидаемые эффективные дозы внутреннего облучения персонала за год.

Для исследования дисперсного состава радиоактивных аэрозолей применялись следующие импакторы: АИП-2, ФРТЧ (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна), электрический импактор низкого давления HR-ELPI, каскадный импактор Андерсена. При исследовании морфологических характеристик использовали растровый электронный микроскоп (РЭМ) LYRA-3, оснащенный рентгеновским микроанализатором (РМА) X-max 80. Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеновском дифрактометре XRD-7000. Анализ по определению массовой доли азота и кислорода проводили на анализаторе LECO; измерение содержания урана и плутония – на масс-спектрометре «TRITON+». Оценку типа соединения при ингаляции выполняли методом диализа через мембранные фильтры в имитаторе легочной жидкости.

Поскольку значения дозовых коэффициентов для ингаляционного поступления аэрозолей СНУП-топлива отсутствуют, оценочные расчеты в предположении одинакового радиационного воздействия оксидов и нитридов урана и плутония на человека дают относительно низкие текущие значения годовых ожидаемых эффективных доз (ОЭД) облучения персонала – годовые значения ОЭД при среднегодовых значениях ОА за 2018-2019 гг., рассчитанные с помощью полученных дозовых коэффициентов, составили порядка 1 мЗв.

Результаты исследований легли в основу методических рекомендаций по радиационному и санитарно-химическому контролю вредных производственных факторов на рабочих местах персонала модуля фабрикации СНУП-топлива, а также временных методических указаний «Организация дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала модуля фабрикации-рефабрикации».

Авторы выражают благодарность сотрудникам НП «Лаборатория анализа микрочастиц» и СТИ НИЯУ МИФИ В.А. Стебелькову, А.В. Жукову, В.Л. Софронову и Е.Ю. Карташову, принимавшим непосредственное участие при выполнении экспериментальных исследований.

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМАТИВНЫХ И РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

Корнева Е.А., Журавлева В.Е., Цовьянов А.Г.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

janekorneva@gmail.com

В настоящее время быстрый темп развития отраслей медицины, науки и промышленности влечет за собой создание новых ускорительных установок, производящих ионизирующее излучение высокой энергии (ИИВЭ). Внедрение высокоэнергетических, мощных электронных установок принесло новые проблемы и усилила старые. Более высокая энергия требует обеспечения высокоэнергетической дозиметрии и экранирования нейтронов и мюонов, а также решения проблемы нейтронного неба. Более высокая мощность усугубила такие проблемы, как радиоактивный воздух и вода, а также возможность прожига защиты электронными пучками. Эксплуатационная гибкость, такая как несколько лучей, также предъявляет новые требования к системам защиты персонала.

Отсутствие гигиенических норм и рекомендаций не дает оснований и для развития приборов радиационного контроля ИИВЭ. Подобная ситуация делает невозможным обеспечение радиационной безопасности при работе на таких установках.

Очевидна необходимость разработки нормативных документов для работы с ИИВЭ, их гармонизация с международными рекомендациями. Действующие российские документы, регулирующие радиационную безопасность персонала, населения и охрану окружающей среды, не соответствуют современной международной системе радиационной защиты и нуждаются в гармонизации с международными рекомендациями.

Для решения указанных выше проблем было принято решение разработать справочник и санитарные правила по обеспечению радиационной безопасности на ускорителях заряженных частиц. Планируется использовать материалы международных нормативных и рекомендательных документов по радиационной безопасности при обращении с источниками ИИВЭ. Некоторые из них было решено перевести и официально опубликовать версию на русском языке:

1. IAEA Report № 283 – Radiological Safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators.
2. IAEA Safety Standards – Radiation Safety of Accelerator Based Radioisotope Production Facilities.
3. IAEA TR #188 – Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators.
4. ICRP Publication 74 – Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation.
5. ICRP Publication 116 – Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures.
6. ICRP Publication 127 – Radiological Protection in Ion Beam Radiotherapy ICRP, 2014.

Перевод этих публикаций поможет более полно понять требования к обеспечению радиационной безопасности работникам организаций, эксплуатирующих ИИВЭ.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ С ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Корнетов А.Н.^{1,2}, Потапова Н.Е.^{1,3}

¹АО «Сибирский химический комбинат», г. Северск, Россия

²ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, г. Томск, Россия

³Томский научный центр СО РАН, г. Томск, Россия

shk@atomsib.ru

Влияние ионизирующего излучения на нервную систему, психику и психофизиологические процессы до конца не изучено. В современной литературе существует большое количество противоречивых сведений, которые, впрочем, показывают, что игнорировать такое влияние не следует. Описаны неврологические, сосудистые, психоэндокринные и разнообразные функциональные последствия действия ионизирующего излучения на человека. На степень последствий оказывают влияние интенсивность воздействий, частота, а также соблюдение норм и требований к охране труда и культуры безопасного поведения.

Психофизиологическое обследование лиц, работающих с ионизирующим излучением на АО «СХК» проводится с периодичностью 1 раз в год в лаборатории обеспечения надежности персонала, являющейся структурным подразделением АО «СХК». Его целью является получение данных об уровне психофизиологической адаптации работника для прогнозирования развития профессионально ограничивающих заболеваний и нарушений, влияющих на функциональную надежность работника. Психофизиологическое обследование является составной частью процедуры оценки профессионально важных личностных качеств, используемой для определения соответствия индивидуально-психологических и психофизиологических особенностей работника требованиям должности для прогнозирования его профессиональной надежности.

Психофизиологическое обследование, проводится в первой половине дня в специально подготовленных, изолированных от шума помещениях, в оптимальных санитарно-гигиенических условиях. Пришедшие на обследование работники должны быть хорошо отдохнувшими. К обследованию не допускаются лица, работавшие в вечернюю или ночную смену, с признаками ухудшения состояния здоровья, либо состоянием здоровья, препятствующим участию в обследовании. В помещениях, где проводится обследование, запрещается пребывание посторонних лиц, разговоры и передвижения. Вход и выход из этих помещений осуществляется только с разрешения специалистов, проводящих обследование. Если работник по какой-либо причине не смог прийти в обозначенное графиком время, то он согласует со специалистами лаборатории другое время обследования.

Обследование начинается с вводной беседы между специалистом по психодиагностике и обследуемым, а также заполнения им анкеты. Обязательным элементом этого этапа работы является пристальное наблюдение за поведением испытуемого. Используется базовый набор методик, позволяющих получать оценку психического, психофизиологического, физиологического состояния и интегрального уровня психофизиологической адаптации работника: методика многостороннего исследования личности (адаптация Березин); тест 16 личностных факторов Кеттелла 16-ФЛО (форма А, 187 вопросов); пиктограмма; система оперативного контроля операторов; методика «Волевой самоконтроль»; цветовой тест Люшера. В среднем время обследования составляет 2-3 часа на человека. Завершающей его стадией является индивидуальная беседа с обследуемым, в ходе которой уточняются и дополняются данные исследовательских методик, составляются представления о том, каким образом личностные и психофизиологические особенности работника проявляются в реальном поведении и могут влиять на профессиональную деятельность. Для уточнения результатов обследования могут быть использованы дополнительные методики, определяемые специалистом лаборатории с учетом вида и целей психофизиологического обследования. Информация, содержащаяся в заключении, сообщается обследуемому лицу в ходе индивидуальной беседы с учетом его психического состояния, с соблюдением требований профессиональной этики в целях выдачи рекомендаций по сохранению здоровья.

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ТИПОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Паринов О.В., Самойлов А.С., Шандала Н.К., Лягинская А.М.,

Галстян И.А., Метляев Е.Г, Купцов В.В.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

parinov75@mail.ru

Современная система радиационной защиты в области охраны здоровья человека направлена на недопущение тканевых (детерминированных) эффектов и минимизацию рисков стохастических эффектов.

Практической основой радиационной защиты человека является измерение и оценка доз. Установленные в отечественных нормах радиационной безопасности НРБ-99/2009 основные пределы доз, обеспечивают радиационную безопасность для персонала в условиях регламентной эксплуатации источника облучения.

Исходя из этих положений, основное внимание в оценке здоровья работников радиационно опасных производств уделяется возможным отдаленным (стохастическим) эффектам заболеваемости раком, а в научных исследованиях – оценке риска и онкологической заболеваемости.

В рамках направления «Прорыв» разрабатываются технологии по производству нового смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива. Перспективным технологическим решением разрабатываемого СНУП-топлива является использование в его производстве отработанного оружейного плутония и регенерированного урана.

Вовлечение оружейного плутония в топливный цикл является высокотоксичным процессом, поскольку использование плутония, «одного из самых радиотоксичных элементов», неизбежно приведет к изменению радионуклидного состава аэрозолей воздуха рабочей зоны и росту внешнего γ - η -излучения на рабочих местах по сравнению с производством топлива на основе урана.

В силу ряда объективных причин разработка нового уран-плутониевого топлива ведется в отсутствие данных о токсичности и биологической эффективности этого соединения и при отсутствии гигиенических нормативов на содержание радиоактивных веществ в рабочих помещениях.

Выявленный уровень заболеваемости работников экспериментального производства СНУП-топлива – 1 064,5 на 1 000 человек в год и наличие в моче работников ^{239}Pu , ^{241}Am , создающих дозы гамма-нейтронного облучения 2,5 мЗв в год, в т. ч. облучение хрусталика глаза – $2,3 \pm 0,5$ мЗв/год, гонад – 3,4 мЗв/год, кожи лица – 2,7 мЗв/год и кожи запястья рук – $190,0 \pm 50$ мЗв/год (при прогнозируемой эффективной дозе 4,5 мЗв/год), свидетельствуют, что существующая система радиационной защиты в области охраны здоровья, основанная на контроле доз облучения, неадекватна воздействию сложных факторов нового ядерного производства. Нужны новые подходы к оценке состояния здоровья работников сложного ядерного производства.

Впервые для охраны здоровья работников высоко опасных ядерных производств, работающих в условиях отсутствия гигиенических нормативов, предложен обоснованный фундаментальными положениями радиобиологии метод оценки заболеваемости в качестве показателя функционального состояния организма – резистентности – в условиях действия малых доз радиации, а для количественной оценки радиационного воздействия – метод относительного риска влияния факторов производства на заболеваемость.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИЗВЕСТНЫХ УСТРОЙСТВ И СПОСОБОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОТ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ С МОКС-ТОПЛИВОМ

Попченко М.Р., Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Оленина И.В., Тимошенко А.Н.,
Зиновьев В.П., Исаев О.В., Сеитова А.Г.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
mar.popchenko@mail.ru

МОКС-топливо (МОКС – калька с англ. аббревиатуры MOX, Mixed-Oxide Fuel) – это смешанное оксидное уран-плутониевое топливо ($UO_2 + PuO_2$) для реакторов атомных электростанций.

Изготовление МОКС-топлива сопряжено с радиационными, химическими, пожарными и взрывоопасными рисками, приводящими к загрязнению окружающей среды. В результате этого процесса образуются жидкие, газообразные и твердые радиоактивные и токсичные отходы, подлежащие переработке, хранению и утилизации. Безопасное обращение на протяжении всего процесса требует принятия особых мер при проектировании и организации производства, медицинской гигиене и обучении персонала.

В России, США, Франции, КНР и Японии активно разрабатываются технологии замыкания ядерного топливного цикла, и перехода к использованию отработанного ядерного топлива в технологии изготовления МОКС-топлива, что существенно повышает требования к радиационной защите персонала. Большое внимание уделяется автоматизации производства МОКС-топлива и совершенствованию радиационного контроля.

Изменение технологии сопровождается совершенствованием СИЗ. Основные тенденции на этом направлении: создание новых материалов, разработки одноразовых средств защиты, а также средств ограниченного повторного использования для атомной промышленности.

В ходе патентных исследований, проведенных в 2022 г., были проанализированы патентные документы Российской Федерации и зарубежных стран по ряду направлений, относящихся к обеспечению радиационной защиты персонала от внутреннего облучения при работе с МОКС-топливом (шт.):

- технология производства МОКС-топлива – 248;
- анализ МОКС-топлива и его компонентов – 75;
- контроль радиационного загрязнения воздуха (аэрозоли и газы) – 90;
- контроль радиационного загрязнения поверхностей – 42;
- дезактивация – 106;
- СИЗ и СКЗ и материалы для них – 120;
- боксы и контейнеры – 77;
- медико-биологический аспект – 29.

ПРОАКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Потапова Н.Е.^{1,2}, Корнетов А.Н.^{1,3}, Измestьев К.М.¹

¹АО «Сибирский химический комбинат», г. Северск, Россия

²Томский научный центр СО РАН, г. Томск, Россия

³ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, г. Томск, Россия

shk@atomsib.ru

Формирование культуры безопасности (далее – КБ) предприятий, имеющих опасные производственные объекты, в настоящий момент не просто продиктовано необходимостью времени, а представляется одним из условий продвижения продукции на мировой рынок. Акционерное общество «Сибирский химический комбинат» (далее – АО «СХК») в данном

контексте не исключение. Деятельность по формированию и развитию КБ не воспринимается как независимая процедура в процессной модели АО «СХК» и не рассматривается разрозненно от производственной деятельности; включена в процессы интегрированной системы менеджмента предприятия и развивается на постоянной основе посредством непрерывного совершенствования КБ.

Продуктивность системы безопасности на предприятиях с опасными производственными объектами традиционно оценивается с точки зрения ретроспективного анализа произошедших несчастных случаев. Современные подходы к оценке уровня продуктивной работы позволяют оценивать систему безопасности на производстве в аспекте проактивных (предупреждающих) методов. Одним из примеров проактивных подходов является: повышение и поддержание профессиональной надежности персонала для обеспечения безопасной и эффективной работы. С этой целью в 2001 г. была создана психологическая служба АО «СХК»: лаборатория психофизиологического обеспечения (сегодня – лаборатория обеспечения надежности персонала, ЛОНП).

Основное направление деятельности ЛОНП АО «СХК» – практическое решение комплексных задач по повышению и поддержанию профессиональной надежности персонала для обеспечения безопасной и эффективной работы предприятия. Эта цель достигается с помощью реализации основных направлений деятельности специалистов психологической службы АО «СХК»:

- проведение психофизиологического обследования (далее – ПФО) кандидатов на трудоустройство / работников предприятия. Функция проведения ПФО – психологический отбор работников на ядерно опасные участки и контроль психофизиологических свойств и профессионально важных личностных качеств для выявления ранних признаков психологической дезадаптации и других расстройств, снижающих профессиональную надежность персонала, на основании требований законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации;

- выполнение процедуры химико-токсикологического анализа биологических жидкостей персонала на наличие запрещенных веществ;

- сопровождение сотрудников в рамках психологической поддержки персонала АО «СХК». Является дополнительной эффективной преградой профилактики неправильных действий работников за счет предотвращения нервно-психического напряжения и продления профессионального долголетия. Важность этой работы заключается в следующем: персонал ядерно опасных предприятий подвержен влиянию ряда стрессовых факторов, таких, как повышенная ответственность за результат работы, психоэмоциональное напряжение, сменный график работы и т. д.;

- осуществление социально-психологического исследования трудовых коллективов подразделений АО «СХК». В результатах исследования отражены показатели соблюдения КБ работниками подразделений АО «СХК» в их повседневной профессиональной деятельности, а также отношение работников к КБ персонала (руководством) подразделения и АО «СХК» в целом.

БИОФИЗИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПЕРСОНАЛА, УЧАСТВУЮЩЕГО В РАБОТАХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ НОВЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

Поцяпун Н.П., Квачева Ю.Е., Максимова Е.Ю., Молоканов А.А., Астапова А.А.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
fmbc@fmbamail.ru

Для участия в биофизических исследованиях на содержание в биопробах альфа-излучающих радионуклидов урана и трансурановых элементов (плутония и америция) были отобраны работники предприятий атомной отрасли, принимающие непосредственное участие в работах со СНУП и МОКС-топливом. На каждого участника биофизических исследований был

составлен и представлен профмаршрут, отражающий информацию о профессиональной деятельности участника и стаже работы с источниками ионизирующего излучения, в т. ч. на участке производства и обращения с новыми видами топлива.

Сбор биопроб проводился в соответствии с разработанными ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России рекомендациями по отбору проб мочи.

Анализ проб мочи на содержание α -излучающих изотопов урана, плутония и америция проводился согласно «Методике измерений активности изотопов урана, плутония и америция в пробах мочи спектрометрическим методом после радиохимической подготовки для проведения индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала» (Свидетельство об аттестации № 06-21/4.RA.RU.311295–2019 выдано Метрологической службой ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России).

Полученные результаты измерений содержания α -излучающих радионуклидов в представленных пробах мочи работников, занятых в производстве СНУП-топлива, свидетельствуют о поступлении, как правило, незначительном, радиоактивных веществ в организм вследствие контакта с открытыми источниками ионизирующего излучения.

Полученные результаты биофизических исследований персонала производства МОКС-топлива показали, что из лиц, прошедших биофизическое обследование в 2021 г., большая часть не является выделителями радиоактивных элементов (содержание изотопов урана, плутония и америция в моче варьируется на уровне детектирования прибора).

В целях обеспечения контроля радиационной обстановки, в том числе индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения, была разработана «Методика измерений активности изотопов урана, плутония и америция в пробах мочи спектрометрическим методом после радиохимической подготовки для проведения биофизического контроля лиц, работающих со СНУП-топливом».

Были проведены предварительные модельные расчеты по оценке доз внутреннего облучения у лиц из персонала, участвующего в изготовлении МОКС-топлива, учитывающие различные предположения о типе соединений изотопов урана, америция и плутония, поступивших в организм ингаляционным путем. Представленные результаты расчетов доз следует рассматривать как оценку уровня облучения наблюдаемой группы персонала в целом. Индивидуальные оценки уровня облучения отдельных работников по результату одного измерения за год будут обладать большой неопределенностью.

В рамках дальнейшего развития работы по данному направлению представляются целесообразными адаптация разработанной селективной спектрометрической методики анализа проб мочи к определению α -излучающих радионуклидов урана, плутония и америция в кале, динамическое наблюдение лиц из персонала производства СНУП- и МОКС-топлива, имеющих повышенное содержание радионуклидов урана, плутония и америция в теле и продуктах выведения, а также проведение комплексного исследования физико-химических характеристик радиоактивных аэрозолей в рабочей зоне с целью уточнения параметров дозиметрической модели для обеспечения контроля внутреннего облучения персонала, участвующего в работах по производству новых видов топлива.

ФИЛОСОФИЯ КАК ЭКСПЕРТИЗА:

К РАДИАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ЧЕЛОВЕКА КАК ЦЕЛОСТНОСТИ

Пронин М.А.¹, Ушаков И.Б.², Гавриш Н.Н.³

¹Институт философии РАН, г. Москва, Россия

²ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

³ЦНИИ Минобороны России, г. Сергиев Посад, Россия

virtus@mail.ru

«Острейшая проблема сегодня – получение объективной информации о состоянии биосферы Земли и генетического фонда населения в эпоху глобальных техногенных катастроф

и тотального радиоактивного загрязнения очень больших территорий» (А.И. Глущенко, И.И. Сусков, Л.С. Балева, 2006). Исследования показывают, что после катастрофы на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) регистрируются рост числа соматических заболеваний наряду с растущим уровнем хромосомного мутагенеза и феноменом «индуцированной геномной нестабильности». Вследствие этого, мониторинг хромосомных и геномных aberrаций должен быть задачей стратегической важности в системе правительственных решений по минимизации радионуклидной и химической опасности для здоровья и наследственности человека.

Сохраняются не только застарелые проблемы запаздывания/отставания в развертывании систем реагирования в чрезвычайных ситуациях (та же неадекватность психологической помощи нуждающимся контингентам в современной специальной военной операции на Украине), систем научно-методологического сопровождения инцидентов подобных аварии на ЧАЭС (в отношении чернобыльской катастрофы развертывание научных центров заняло несколько лет: в ту пору Всесоюзный научный центр радиационной медицины, Научный центр МО СССР – в/ч 19772, Всесоюзный распределенный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС, всеармейские и др. его ведомственные аналоги и пр.), но и упреждающего развертывания инфраструктурных систем научного обеспечения фундаментальных, поисковых и прикладных разработок в данных областях научного знания.

Инфраструктурные системы принципиально нового класса комплексированы вполне определенной доктриной. Ее научная идеология опирается на понимание того факта, что именно оценка радионуклидно-токсикогенно-геномного риска позволяет подойти к решению задачи изучения человека как целостности в силу того, что оценки состояния стабильности генома соматических клеток, диагностика иммунодефицита, определение величин поглощенных доз по частоте хромосомных aberrаций позволяют дать генетический прогноз здоровья, как обследуемых ликвидаторов, так и их потомков. А наследственность, как известно, функция целостного организма.

Собственно задача организации системы охраны «целостного человека», на наш взгляд, может быть развернута как раз на контингентах ликвидаторов катастрофы на ЧАЭС. В нашем случае речь может идти о методологическом выделении уникальной во многих аспектах группы вертолетчиков – участников аварии на ЧАЭС – как идеального теоретического конструкта, представляющего «стандартного/условного ликвидатора».

ОРГАНИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ НАСЕЛЕНИЮ, ПОСТРАДАВШЕМУ ОТ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Савастеева И.Г., Евдочкова Т.И., Селькина В.Д.

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,
г. Гомель, Беларусь
savastteeva69@gmail.com

Широкое использование ультразвуковых исследований (УЗИ) обусловлено высокой информативностью, экономичностью, неинвазивностью метода, возможностью проведения динамического наблюдения. Наличие мобильных ультразвуковых сканеров позволяет использовать данную методику как в условиях медицинских учреждений, так и мобильных кабинетов. Это обеспечивает преемственность и взаимодействие в работе со структурными подразделениями не только своего, но и сторонних учреждений здравоохранения.

Нами проведен анализ организационных аспектов работы отделения ультразвуковой диагностики ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» (РНПЦ РМиЭЧ) в рамках оказания специализированной эндокринологической помощи населению, пострадавшему вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС. В круг задач, решаемых эндокринологической службой, входит скрининг онкопатологии щитовидной железы (ЩЖ), в том числе радиоиндуцированной, у различных групп населения. Для решения данной задачи проводится:

- дифференциальная диагностика онкологических и не онкологических заболеваний ЩЖ и забор цитологических проб под визуальным контролем;
- диагностика анатомических нарушений, связанных с компрессионным синдромом со стороны патологически измененной ЩЖ;
- диагностика осложнений со стороны органов-мишеней, вызванных нарушениями функции ЩЖ.

Данные мероприятия проводятся в тесном взаимодействии врача-эндокринолога, врача ультразвуковой и лабораторной диагностики. В отделении ультразвуковой диагностики за 11 месяцев 2022 г. выполнено более 81 000 УЗИ. Удельный вес УЗИ ЩЖ составил 22,8 %. Около половины УЗИ ЩЖ выполнено сотрудниками мобильной бригады, непосредственно в регионах пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС. С целью дифференциальной диагностики объемных новообразований ЩЖ выполнено более 3 500 тонкоигольных аспирационных биопсий (ТАБ). Простота использования данного метода и его высокая информативность позволили широко внедрить ТАБ ЩЖ как манипуляцию амбулаторного приема в условиях поликлинического отделения, так и в работу специалистов мобильной бригады. ТАБ проводится непосредственно в день приема у врача-эндокринолога или проведения УЗИ ЩЖ при наличии показаний. Около 10,0 % ТАБ выполняется специалистами мобильной бригады, непосредственно во время работы в пострадавших регионах.

Анализ результатов цитологического исследования пунктатов ЩЖ показал, что подозрение на папиллярную карциному имело 5,4 % пациентов, фолликулярную неоплазму – 6,6%. У 10,9 % пациентов цитологическая картина была описана как «атипия неопределенного значения» или «фолликулярные изменения неопределенного значения», что послужило основанием для формирования группы для динамического цитологического контроля и раннего выявления злокачественной трансформации ЩЖ. Следует отметить, что 64,3 % от всех цитологических заключений «подозрение на папиллярную карциному» была обнаружена в узлах менее 1 см в диаметре, что соответствовало клиническому понятию микрокарцинома.

Скрининг и дифференциальная диагностика узловых новообразований в ЩЖ требуют привлечения группы врачей-специалистов. Координированные группы врача-эндокринолога, врача ультразвуковой диагностики и цитолога, в т. ч. и мобильные, позволяют эффективно проводить диагностические мероприятия, непосредственно в пострадавших регионах, и снизить количество запущенных случаев злокачественных новообразований ЩЖ.

НОВЫЕ ВИДЫ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Самойлов А.С., Шандала Н.К., Шинкарев С.М., Паринов О.В.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
nshandala@gmail.com

Одним из основных направлений и главным назначением за 75-летний период деятельности ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России является санитарно-гигиеническое обеспечение радиационной безопасности персонала радиационно опасных объектов и населения, проживающего в районах расположения предприятий атомной промышленности, как в условиях нормальной деятельности, так и в аварийных ситуациях, а также разработка необходимых санитарных норм, правил, методических документов в соответствующей области санитарного законодательства.

С 2018 г. специалисты ФМБЦ в рамках проекта «Прорыв» проводят научные исследования на предприятиях АО «СХК» и ФГУП «ГХК» по изучению влияния на персонал смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива и смешанного оксидного уран-плутониевого (МОКС) топлива. В результате установлена высокая реакционная способность СНУП-соединений, заключающаяся в мгновенном окислении торакальной фракции аэрозолей и возможным переносом в желудочно-кишечный тракт. Подобные закономерности установлены

и для МОКС топлива. Полученные данные позволили сделать вывод, что реальные дозы внутреннего облучения персонала, контактирующего как со СНУП, так и с МОКС топливом, могут не совпадать с расчетными оценками, выполняемыми по стандартным существующим моделям для урана и плутония, что обосновывает необходимость проведения дальнейших радиобиологических исследований и разработки санитарных норм допустимого содержания новых веществ.

Самостоятельной задачей работ по проекту «Прорыв» явилось изучение заболеваемости персонала производства СНУП-топлива, оценка которой проводилась на основе расчета радиационного риска. Полученные характеристики относительного радиационного риска на сравниваемых плутониевых производствах химико-металлургического и радиационно-химического заводов АО «СХК» свидетельствуют о формировании раннего радиационного эффекта – снижения резистентности организма. По механизму развития выявленный эффект является стохастическим эффектом малых доз радиации и может расцениваться как формирование плутониевой патологии, реализуемой на клеточном уровне. На основании комплексного анализа клинических данных разработаны научно обоснованные дополнительные требования к проведению медицинского обследования персонала и предложен алгоритм медицинского наблюдения, положенный в основу Временных рекомендаций по проведению медицинских осмотров работников производства СНУП-топлива.

Используя накопленный опыт и разработанную методологию проведения радиационно-гигиенических, медицинских и экологических исследований, ФМБЦ планирует изучать и другие виды нового ядерного топлива – РЕМИКС-топливо, топливо для многоцелевого реактора на быстрых нейтронах, интерметаллидное, карбонитридное, металлокерамическое топливо.

Гарантом обеспечения и сохранения здоровья персонала и населения, вовлеченного в закрытый ядерно-топливный цикл, может выступать только разветвленная, эшелонированная государственная система законодательного и научно-методического обеспечения радиационной безопасности. В ближайшие годы предстоит актуализировать действующие российские регулирующие документы с учетом накопленного отечественного опыта обращения с новыми видами ядерного топлива.

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Проскуракова Н.Л., Алферова Т.М.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
fmbc@fmbamail.ru

Стратегия развития атомной энергетики в России предусматривает переход предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) на замкнутый цикл, т.е. широкомасштабное повторное использование урана, регенерированного из отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Национальная политика по обращению с ОЯТ базируется на концепции, в основе которой находится постулат: «ОЯТ является ценным вторичным сырьем для получения компонентов ядерного топлива и ряда радиоактивных изотопов, используемых в медицине, сельском хозяйстве, промышленности». Стратегическими направлениями в области обращения с ОЯТ являются создание надежной системы долговременного контролируемого хранения ОЯТ, развитие переработки ОЯТ и сбалансированное вовлечение продуктов регенерации ОЯТ в ЯТЦ.

Неизбежным следствием перехода предприятий ЯТЦ на замкнутый цикл будет увеличение содержания в регенерированном ядерном топливе изотопов уран-236, 232 и трансураниевых элементов, а в свежем МОКС-, РЕМИКС- и СНУП-топливе – наличие плутония, с последующим накоплением в них трансплутониевых элементов, что может негативно влиять на радиационную обстановку в производственных помещениях атомных электростанций (АЭС) и при переработке ОЯТ.

Безопасность обращения с ОЯТ должна обеспечиваться наличием эффективной нормативно-правовой базы (нормативно-правовые акты, определяющие нормы права и принципы ответственности в области ядерной и радиационной безопасности, нормы и правила обеспечения безопасности, руководства, инструкции и другие документы).

В настоящее время нет систематизированного нормативного документа, охватывающего все аспекты безопасного обращения с ОЯТ. Таким нормативным документом должны стать соответствующие санитарные правила, содержащие требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения на всех стадиях обращения с ОЯТ, а именно:

– при размещении, сооружении, эксплуатации и выводу из эксплуатации установок по обращению с ОЯТ;

– при использовании ОЯТ на АЭС и других ядерно-энергетических установках;

– при хранении, переработке и транспортировании ОЯТ;

– при использовании ОЯТ для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;

– при конструировании и изготовлении оборудования для установок по обращению с ОЯТ;

– при проведении экспертизы проектной, конструкторской и технологической документации, а также документов, обосновывающих обеспечение ядерной и радиационной безопасности установок по обращению с ОЯТ.

ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ РАБОТАХ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ

Симаков А.В., Абрамов Ю.В.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

fmbc@fmbamail.ru

Работы по реабилитации загрязненных радионуклидами участков территории, так называемое «ядерное наследие», должны выполняться с соблюдением требований обеспечения безопасности как персонала, так и населения. Основными радиационными факторами при работах по реабилитации территории являются поверхностное загрязнение радиоактивными веществами, поступление радионуклидов в организм при дыхании и гамма-излучение от загрязненных участков.

«Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» (№ Пр-539 от 01.03.2012) определили в качестве одной из основных задач «ликвидацию накопленного экологического ущерба и реабилитацию радиационно загрязненных участков территории Российской Федерации».

Ситуации ядерного наследия могут явиться результатом широкого круга видов деятельности, в том числе: добыча и переработка урановой и прочих руд, эксплуатация объектов использования атомной энергии, переработка ядерного топлива, испытательные полигоны ядерного оружия, мирные ядерные взрывы, ядерные транспортные установки, а также объекты и территории, пострадавшие в результате аварий и пр.

Окончательной целью проведения реабилитационных работ является приведение загрязненных территорий в безопасное состояние, не требующее контроля со стороны органов государственного регулирования радиационной безопасности.

Для обеспечения радиационной безопасности персонала и населения при проведении реабилитационных работ, на первый план выходят следующие задачи:

- проведение радиационной разведки;
- оценка радионуклидного состава загрязнений территории;
- организация санитарно-пропускного режима, использование мобильных санпропускников;
- использование адекватных средств индивидуальной защиты с учетом климатических условий;

- организация индивидуального дозиметрического контроля;
- организация работ по обращению с радиоактивными отходами (РАО);
- разработка мероприятий по нераспространению радиоактивных загрязнений;
- организация безопасного транспортирования вывозимых РАО;
- проведение мероприятий по пылеподавлению;
- разработка допустимых уровней остаточного радиоактивного загрязнения в зависимости от условий последующего использования территории.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВВЕДЕНИЯ В ДЕЙСТВИЕ ТИПОВОЙ ИНСТРУКЦИИ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕНТГЕНОВСКИХ КАБИНЕТАХ ВОЕННО-МЕДИЦИНСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ ЗАПАДНОГО ВОЕННОГО ОКРУГА

Соловей Э.П., Гонышев С.С., Козлов М.С., Панченко И.С.,
ФГКУ «985 ЦГСЭН» Минобороны России, г. Санкт-Петербург, Россия
sol_ed@mail.ru

В процессе работы по рассмотрению проектов документов, поступающих на согласование из различных военно-медицинских организаций Западного военного округа, в ФГКУ «985 ЦГСЭН» Минобороны России и касающихся вопросов обеспечения радиационной безопасности, установлено, что большинство проектов не соответствуют требованиям нормативных правовых актов в области обеспечения радиационной безопасности населения и охраны труда работников. Зачастую для разработки проектов подобных документов используются действующая документация одной из военно-медицинских организаций, в которой изменяется только наименование организации и ответственное должностное лицо.

С целью приведения в соответствие требованиям нормативных правовых актов в области обеспечения радиационной безопасности населения и охраны труда, а также с целью унификации разрабатываемых проектов и оказания методической помощи работниками ФГКУ «985 ЦГСЭН» Минобороны России, совместно со специалистами Военно-медицинской академии им С.М. Кирова, впервые разработана и введена в действие в мае 2022 г. «Типовая инструкция по радиационной безопасности, охране труда и действиях персонала в аварийных ситуациях в рентгеновском кабинете» (далее – Инструкция).

Инструкция разработана в соответствии с требованиями Федерального закона от 09.01.1996. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», Федерального закона от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)», СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований», приказа Министерства здравоохранения от 28.01.2021 № 29н, МУ 2.6.1.1982-05 «Проведение радиационного контроля в рентгеновских кабинетах», МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований», МР 2.6.1.0257-21. «Проведение радиационно-гигиенической паспортизации».

Инструкция содержит основные положения по охране труда для персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений.

Титульная страница Инструкции содержит реквизиты согласующего и утверждающего должностного лица. Содержание Инструкции включает 6 разделов: общие положения, общие требования безопасности, требования безопасности перед началом работы, требования безопасности во время работы, требования безопасности в аварийных ситуациях, требования безопасности по окончании работы.

Последняя страница Инструкции содержит реквизиты ответственного за радиационную безопасность и дату разработки.

Инструкция введена в действие телефонограммой начальника военно-медицинского управления Западного военного округа и обязывает руководителей военно-медицинских организаций на ее основе разработать, согласовать с руководителями центров государственного санитарно-эпидемиологического надзора районов ответственности и ввести в действие соответствующие инструкции по радиационной безопасности, охране труда и действиях персонала в аварийных ситуациях в рентгеновском кабинете для работников рентгеновских кабинетов.

Таким образом, впервые в масштабах военного округа разработан унифицированный документ, позволяющий избежать ошибки при его согласовании и введении в действие, который может быть использован в работе Федерального медико-биологического агентства.

ИТОГИ СТАТИЧНОГО И ПОТЕНЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК» ПРИ ИНКОРПОРАЦИИ ПЛУТОНИЯ

Тельнов В.И.

ФГБУН Южно-уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
tvi@subi.su

Одной из актуальных проблем радиационной медицины является оценка влияния радиационного воздействия на продолжительность жизни (ПЖ) человека. Впервые сведения о сокращении ПЖ при действии плутония-239, были получены в эксперименте на животных, так как ПЖ людей не сопоставимо больше и требует более длительного периода наблюдения. В настоящее время в демографических исследованиях проблема ПЖ наряду с традиционным статичным подходом изучается с помощью потенциальных подходов.

Целью исследования явилась оценка статичных и потенциальных показателей ПЖ у работников ПО «Маяк» при разных уровнях инкорпорации плутония-239 при опухолевых и неопухолевых причинах смерти.

Материалом для исследования явилась когорта работников 1948-1958 годов найма (1 739 мужчин и 605 женщин) с инкорпорацией плутония-239 в организм. С помощью регрессионного анализа (программа STATISTICA 10) в зависимости от уровня инкорпорации плутония-239 изучали статичные: общую ПЖ и ПЖ после начала работы (ПЖпнр), а также потенциальные показатели: долю мужчин, не доживших до 65 лет, не проживших 40 лет после начала работы, долю женщин, не доживших до 70 лет, не проживших 45 лет после начала работы. Оценивали также потери жизненного потенциала в целом (ПЖП) и после начала работы (ПЖПпнр) в человеко-годах. Показатели ПЖП определяли как сумму разниц между стандартной ожидаемой продолжительностью жизни в ЕС-15 (77 лет у мужчин и 83 года у женщин) и числом прожитых лет в целом и после начала работы (ПЖПпнр). В последнем случае за стандарт принимали 55 лет и 61 год соответственно. ПЖП и ПЖПпнр оценивали на одного индивида, индексы ПЖП и ПЖПпнр определяли в группах как отношение ПЖП и ПЖПпнр к числу прожитых человеко-лет в целом и после начала работы (в %), а также возрастную структуру смертности.

В результате линейного регрессионного анализа при опухолевых и неопухолевых причинах смерти, установлено сокращение у мужчин и женщин общей ПЖ и ПЖпнр в зависимости от повышения уровня инкорпорированного плутония-239. Сокращение ПЖпнр было более выраженным, чем сокращение общей ПЖ. Доли мужчин и женщин, не доживших до стандартного возраста, особенно после начала работы, повышались. Индивидуальные ПЖП и ПЖПпнр, а также индексы ПЖП и ПЖПпнр с увеличением инкорпорации плутония возрастали у работников обоего пола. Анализ возрастной структуры смертности показал ее существенные различия в группах с инкорпорацией плутония менее 0,200 и более 2,708 кБк. В частности, у мужчин с меньшей инкорпорацией в возрасте до 60 лет доля умерших составляла 13,4 %, доля в возрасте 60-69 лет – 34,1 % и доля в возрасте 70+ лет – 52,5 %, а при большей инкорпорации соответственно: 34,1; 31,3 и 34,6 %. У женщин с меньшей инкорпорацией в возрасте до 60 лет доля умерших составляла 5,1 %, доля в возрасте 60-69 лет – 19,4 % и доля в возрасте 70+ лет –

75,4 %, а при большей инкорпорации соответственно: 26,1; 19,3 и 54,6 %. (различия по χ^2 статистически значимы – $p < 0,0001$ у мужчин и $p < 0,001$ у женщин).

Таким образом, в результате проведенного исследования установлена линейная регрессионная зависимость показателей ПЖ и ПЖП при опухолевых и неопухолевых причинах смерти, а также неблагоприятные изменения возрастной структуры смертности от инкорпорации плутония-239 у работников ПО «Маяк», особенно у мужчин. Эффекты сокращения ПЖпнр, повышения ПЖПпнр и индекса ПЖПпнр, а также доли мужчин и женщин, не проживших после начала работы 40 и 45 лет, были более выраженными, чем эффекты сокращения общей ПЖ и повышения ПЖП и индекса ПЖП доли лиц, не доживших до 65 и 70 лет соответственно. Последнее, очевидно, можно объяснить тем, что ПЖпнр была непосредственно связана с инкорпорацией плутония-239, тогда как ПЖ от рождения включала период жизни до начала контакта с радионуклидом.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕБУЕТ КОРРЕКТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Туков А.Р., Шафранский И.Л., Прохорова О.Н., Михайленко А.М., Зиятдинов М.Н.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
atukov40@mail.ru

Согласно требованиям Федерального закона «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ для оценки состояния радиационной безопасности необходимо использовать показатель радиационного риска. В наибольшей степени этот риск характеризует суммарная накопленная эффективная доза от всех видов облучения – один из основных принципов эпидемиологии. В настоящее время радиационная безопасность в основном базируется на результатах исследования информации регистра лиц, переживших атомную бомбардировку Хиросимы и Нагасаки. Однако японские исследователи считают, что результаты расчетов на базе данных этого регистра нельзя надежно оценить, если медицинские дозы не будут тщательно включены в эти долгосрочные оценки.

К настоящему времени, к сожалению, в мире отсутствуют медико-дозиметрические регистры, отвечающие требованиям директивных документов.

Целью исследования является оценка риска возникновения радиационно обусловленных заболеваний или смерти от них при использовании данных о дозах, полученных ликвидаторами последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) и дозах профессионального облучения.

В исследовании использованы данные Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС, работников атомной промышленности: мужчины – 12 659 человек, из которых дозу профессионального облучения имеют 1 327 человек. На основе файла стратифицированных данных проведена процедура Пуассоновской регрессии, с использованием модуля AMFIT EPICURE и рассчитана величина избыточного относительного риска ряда заболеваний и причин смерти.

Результаты исследования показали, что расчет риска заболевания солидных злокачественных новообразований (ЗНО) при использовании данных о дозах различных видов облучения (ЧАЭС и ЧАЭС+дозы профессионального облучения) приводит к получению результатов, отличающихся друг от друга, а использование только одного из них делает некорректными нормативы радиационной безопасности. Так, избыточный относительный риск (ERR) на 1 Зв для риска заболеванием солидными ЗНО при использовании данных о дозах ЧАЭС+дозы профессионального облучения составил 1,127 (ДИ 95 %: 0,1311-2,122), тогда как при использовании доз только внешнего облучения, полученных при работах на ЧАЭС, показатель равен 0,131 (ДИ 95 %: -0,9286-1,190).

Избыток относительного риска смерти от всех причин, исключая ЗНО, при использовании данных о дозах ЧАЭС+дозы профессионального облучения составил 0,09 (ДИ 95 %: -0,26-0,45),

тогда как при использовании только доз внешнего облучения ЧАЭС показатель равен 0,64 (ДИ 95 %: 0,19-1,17).

К сожалению, при совершенствовании директивных документов, например норм радиационной безопасности, уже в варианте 2009 г. положение об использовании суммарной дозы облучения для расчета радиационного риска в целях оценки радиационной безопасности было исключено.

Результаты исследования показали, что использование для расчета радиационного риска заболевания или смерти данных о дозах различных видов облучения приводит к получению предварительных (ошибочных) показателей избыточного относительного риска. Для получения корректных показателей радиационного риска необходима суммарная доза облучения человека (профессиональная, аварийная, медицинская и природная). В директивные документы о радиационной безопасности необходимо вернуть положение о сборе суммарной дозы облучения человека для корректного расчета риска заболевания или смерти от радиационно обусловленных причин.

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА

Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Ганцовский П.П., Карев А.Е.
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия
atsovyan@mail.ru

В докладе представлены методы и результаты исследований факторов радиационного воздействия на персонал, участвующий в изготовлении смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива на комплексных экспериментальных установках КЭУ-1 и КЭУ-2.

На основе изучения динамики мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы (МАЭД) фотонного и нейтронного излучений на рабочих местах, инструментального индивидуального дозиметрического контроля эквивалентных доз облучения персонала выявлены закономерности формирования доз внешнего облучения. Для оценки ингаляционного поступления и возможных доз внутреннего облучения проведены исследования физико-химических свойств радиоактивных аэрозолей.

Установлено, что основными источниками проникающих излучений в помещениях КЭУ-1 являются боксы, где происходит прессование таблеток, дробление шашек и бракованных таблеток, а также временное хранение продукции. Наибольшие значения МАЭД зарегистрированы в тех боксах, где излучение сформировано загрязнением, обусловленным прошлой эксплуатацией, и не связано с фабрикацией СНУП-топлива. Выявлен существенный вклад нейтронного излучения в формирование индивидуальных доз персонала, который на отдельных рабочих местах КЭУ-1 превышал вклад гамма-излучения. На КЭУ-2 мощным источником внешнего излучения являлась проходящая над помещениями нефункционирующая труба вытяжной вентиляции, в которой от прошлой деятельности скопилось значительное количество радиоактивного материала. Оценка вклада гамма-излучения со стороны вытяжной трубы во внешнее облучение персонала достигала 85 % на отдельных рабочих местах.

Исследования физико-химических свойств радиоактивных аэрозолей показали высокую реакционную способность СНУП-соединений, приводящую к мгновенному окислению торакальной фракции аэрозолей СНУП-топлива при контакте с воздушной средой. Сложный морфологический и дисперсный состав аэрозольных частиц в совокупности со сложным химическим составом, обусловленным процессами старения аэрозолей, может привести к кардинальному отличию процессов биокинетики СНУП-аэрозолей, процесса дозообразования и, следовательно, степени радиологической опасности по сравнению с принятыми в моделях МКРЗ для U и Pu.

Результаты проведенных радиационно-гигиенических исследований носят предварительный характер, поскольку объектом исследований являлась экспериментальная установка, на которой проводилась отработка новой технологии производства ШУП-топлива.

Авторы выражают благодарность В.М. Соломатину и К.М. Измestьеву, принимавшим непосредственное участие в планировании экспериментальных исследований, обработке и анализе результатов.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
В ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА РОССИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕПАРАТА
НА ОСНОВЕ РАДИОНУКЛИДА РАДИЙ-223**

Удалов Ю.Д., Тихомиров Н.Е., Шарапова Т.В., Сычев П.В., Семочкина Г.Н.
ФГБУ ФНКЦРиО ФМБА России, г. Димитровград, Россия
tvsharapova@niiar.ru

Федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии и онкологии ФМБА России (далее – Центр) является одним из крупнейших в Европе комплексов замкнутого цикла, на площадке которого представлены все методы диагностики и лечения онкологических заболеваний, используемые в радиационной и ядерной медицине. В 2022 г. Димитровград определен одной из пяти пилотных площадок для рассмотрения сотрудничества Госкорпорации «Росатом» и ФМБА России, что создает большие возможности по расширению взаимодействия, в том числе в области ядерной медицины.

В рамках приказа Министерства здравоохранения РФ от 12.11.2020 № 1218н «Об утверждении Порядка изготовления радиофармацевтических лекарственных препаратов непосредственно в медицинских организациях» Центр обеспечивает расширение перечня используемых радионуклидов, таких как, радий-223, лютеций-177 и галлий-68. Изготовление альфа-излучающего радиофармпрепарата на основе радионуклида радия-223 группы Б радиационной опасности осуществляется в помещениях Циклотронно-радиохимического комплекса Центра ядерной медицины, отвечающих требованиям государственных санитарно-эпидемиологических правил и нормативов в области обеспечения радиационной безопасности. Работы выполняются по II-III классу работ с открытыми источниками излучения.

С целью расширения перечня используемых Центром радионуклидов была проведена экспертиза обоснования безопасности объекта использования атомной энергии и лицензируемого вида деятельности в области использования атомной энергии для внесения изменений в условия действия лицензии. Полученное экспертное заключение подтверждает выполнение требований ст.26 Федерального закона от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», пп. 31, 21 «Положения о лицензировании деятельности в области использования атомной энергии», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 29.03.2013 № 280, а также пп. 163, 67-71 «Административного регламента предоставления Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной услуги по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии», утвержденного приказом Ростехнадзора от 08.10.2014 № 453.

На всех реализуемых этапах технологических процессов при обращении с радиофармпрепаратами на основе заявленных радионуклидов Центр обеспечивает и контролирует соблюдение требований федеральных норм в области использования атомной энергии. Кроме того, реализованные в Центре меры по радиационному контролю позволяют получать информацию об индивидуальных дозах облучения персонала, а также сведений обо всех регламентирующих величинах, характеризующих радиационную обстановку при использовании радиоактивных веществ на основе радионуклидов радия-223, лютеция-177 и галлия-68. Выполнение мер организационного и технического характера, реализуемых в Центре, позволяет не превысить установленные пределы доз облучения персонала и пациентов.

Учитывая особенность Центра – большая концентрация радиационно опасных объектов на одной площадке – необходимо соблюдать требования радиационной безопасности, а также поддерживать соответствующий уровень квалификации у персонала для обеспечения безопасного выполнения работ в области использования атомной энергии.

Полученный уникальный опыт Центра может быть тиражирован при проведении работ для обеспечения норм радиационной безопасности во вновь возводимых и существующих медицинских учреждениях России с целью оказания высокотехнологичной медицинской помощи в области ядерной медицины.

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ПЕРСОНАЛА СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ РАБОТЫ ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Шаяхметова А.А., Арефьева Д.В.

ФГБУН НИИ ПММ ФМБА России, г. Санкт-Петербург, Россия

niipmm@fmbamail.ru

Увеличение объемов строительства и ремонта атомных объектов морской техники обуславливает рост количества образующихся радиоактивных отходов (далее – РАО), а также объемов работ по их переработке и временному хранению. В связи с этим актуальной задачей является исследование факторов и условий, влияющих на формирование радиационной обстановки на рабочих местах персонала при выполнении работ по обращению с РАО, с целью дальнейшей разработки мероприятий, направленных на оптимизацию радиационной защиты персонала.

Целью исследования является радиационно-гигиеническая оценка условий труда персонала судоремонтных предприятий, выполняющих работы по обращению с РАО.

Исследование проведено на примере крупнейшего в Российской Федерации предприятия судоремонта – АО «Центр судоремонта «Звездочка» (г. Северодвинск). В ходе исследования проанализированы результаты производственного радиационного контроля, выполненного в 2017-2022 гг., а также сводная ведомость результатов специальной оценки условий труда. Оценка условий труда персонала выполнена в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

Работы с РАО на предприятии осуществляются в специальном цехе, включающем: комплекс по переработке низкоактивных жидких радиоактивных отходов (далее – ЖРО), участок промежуточного хранения ЖРО, участок хранения ЖРО, комплекс по переработке ЖРО и твердых радиоактивных отходов (далее – ТРО), спецпрачечную, участок сжигания низкоактивных ТРО.

Установлено, что основным вредным фактором, присутствующим в производственной среде, является ионизирующее излучение (на 50 % рабочих мест по классу условий труда 3.3, одно рабочее место – класс 3.4). К допустимому классу условий труда на 45,5 % рабочих мест отнесены параметры световой среды, на 25,75 % – тяжесть трудового процесса, на трех рабочих местах присутствует химический фактор (вредные условия труда – класс 3.1 и 3.2).

В результате анализа материалов производственного радиационного контроля установлено, что в ряде случаев класс условий труда по показателям радиационной обстановки соответствует опасному (класс 4): например, при временном размещении ТРО в помещениях их временного хранения, при выполнении радиационно опасных работ (далее – РОР) по обращению с ТРО и ЖРО, при выполнении РОР на участке установки ЭКО-3М, на объектах хранения ТРО. Уровни снимаемого радиоактивного загрязнения радиоактивными веществами поверхностей в некоторых рабочих помещениях превышают допустимые уровни для помещений постоянного пребывания персонала. В помещениях по переработке ТРО и ЖРО при проведении РОР по приему и переработке ТРО и при выполнении работ по дезактивации поверхностей

зарегистрировано превышение допустимых значений для помещений периодического пребывания персонала.

Таким образом, по данным производственного контроля на судоремонтном предприятии ведущим вредным и (или) опасным производственным фактором является ионизирующее излучение, представленное внешним гамма-излучением и радиоактивным загрязнением поверхностей бета-частицами (фиксированным и снимаемым). Направлениями дальнейших исследований являются оценка радиационных рисков для работников судоремонтных предприятий при выполнении работ по обращению с РАО и разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и (или) опасных факторов радиационной природы.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ОБРАЩЕНИИ С НОВЫМИ ВИДАМИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Шинкарев С.М., Цовьянов А.Г.

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия

sshinkarev@mail.ru

В настоящее время разворачиваются масштабные работы по разработке и внедрению в атомной отрасли новых перспективных видов топлива для ядерных энергетических установок нового поколения. Отдельным направлением таких работ является проведение радиационно-гигиенических исследований факторов радиационного воздействия на персонал и разработка соответствующих гигиенических нормативов и медико-санитарных требований для обеспечения безопасности технологий обращения с новыми видами топлива на всех стадиях их жизненного цикла. Цель данного сообщения – представить методологию научных исследований, направленных на обеспечение радиационной безопасности персонала при изготовлении новых видов топлива. Эта методология разработана и прошла успешную апробацию на примере обоснования безопасности производства смешанного нитридного уран-плутониевого топлива на комплексных экспериментальных установках.

В рамках методологии решаются две задачи: (1) радиационно-гигиеническая оценка вредных и опасных факторов, воздействующих на персонал, и (2) разработка пакета нормативных и методических документов по обеспечению радиационной безопасности персонала.

При выполнении первой задачи проводятся комплексные исследования, направленные на оценку доз внешнего и внутреннего облучения. Для оценки доз внешнего облучения определяются характеристики полей фотонного и нейтронного излучения на рабочих местах. Проводится экспериментальное фантомно-дозиметрическое моделирование процесса облучения персонала при выполнении работ. Исследуются особенности формирования доз облучения отдельных органов и тканей персонала, нормируемых в НРБ-99/2009. Дается сравнительная оценка характеристик полей излучения на различных рабочих местах.

Для оценки ожидаемых доз внутреннего облучения персонала проводятся исследования физико-химических характеристик аэрозолей нового вида топлива на рабочих местах. В процессе исследований проводится определение радионуклидного и дисперсного состава, динамики счетной концентрации и массового содержания аэрозолей, морфологических и структурных характеристик, элементного состава. Выявляются источники образования аэрозолей. Проводится оценка распределения аэрозольных частиц по типам при ингаляции, исследуется влияние процессов «старения» радиоактивных аэрозолей на их свойства. Кроме этого, проводятся биофизические исследования персонала, участвующего в работах по производству нового вида топлива. Выполняется отбор экскретов персонала, их предварительная обработка с последующим радиохимическим анализом и проведением альфа-спектрометрических измерений.

При выполнении второй задачи готовится стандартный пакет документов, включающий проект санитарных правил обеспечения радиационной безопасности персонала при обращении с конкретным видом топлива, а также проекты методических документов, устанавливающих

контрольные уровни параметров радиационной обстановки и доз облучения, организацию дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала прямым и косвенным методами дозиметрии, организацию радиационного контроля при обращении с новым видом топлива и др.

Успешное выполнение перечисленных выше задач является необходимым условием обеспечения радиационной безопасности персонала при изготовлении новых видов топлива.

Авторы выражают благодарность В.М. Соломатину и К.М. Измestьеву, принимавшим непосредственное участие в планировании структуры исследований, в обсуждении полученных результатов и направлений дальнейших исследований.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

РАДИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ДОЗОЗОВЫЙ ПОДХОД

Власова Н.Г.^{1,2}, Висенберг Ю.В.²

¹Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человек»,
г. Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный университет, г. Гомель, Беларусь
natalie_vlasova@mail.ru

Одна из важнейших задач в промежуточный и отдаленный период после радиационной аварии – реализация радиологического зонирования территории. Выделение территории с различными уровнями ожидаемых доз облучения населения направлено на рациональное и своевременное планирование оперативных и долгосрочных контрмер.

К территории радиоактивного загрязнения относится часть территории Республики Беларусь, на которой в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) возникло долговременное загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами с плотностью загрязнения почв радионуклидами цезия-137 либо стронция-90 или плутония-238, 239, 240, соответственно 37, 5,55 и 0,37 кБк/м² и более, на которых средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить (над естественным и техногенным фоном) 1 мЗв в год.

На территории радиоактивного загрязнения в зависимости от плотности загрязнения почв радионуклидами и средней годовой эффективной дозы облучения населения выделяют 5 зон радиоактивного загрязнения. В соответствии с Законами Республики Беларусь «О социальной защите граждан» и «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» проводится отнесение населенных пунктов к зонам радиоактивного загрязнения раз в 5 лет на основании данных о средней годовой эффективной дозе облучения и средней плотности загрязнения территории населенного пункта долгоживущими радионуклидами. Для этой цели создают Каталоги средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов. Были созданы Каталоги доз в 1992, 1994, 1998, 2004, 2009, 2015 и 2020 гг.

Термины «зонирование» или «зоны радиоактивного загрязнения территории» ассоциируются с критичностью, характерной для ситуации аварийного облучения. Международные подходы к радиационной защите спустя 35 и более лет после аварии на Чернобыльской АЭС изменились. В регламентирующих документах МКРЗ выделяют ситуацию существующего облучения, когда решения о проведении защитных мероприятий, масштабах ведения радиационного контроля и принципах управления территориями радиоактивного загрязнения принимаются на фоне стабилизировавшейся радиационной обстановки, с учетом конкретных уровней облучения населения, в отличие от ситуации аварийного облучения, когда облучение носит непредвиденный характер. Вследствие этого, в отдаленном периоде после аварии на Чернобыльской АЭС в сложившейся ситуации существующего облучения следует переходить от термина «зонирование» для выявления и установления различий в необходимости обеспечения соответствующего уровня радиационной и социальной защиты жителей населенных пунктов, расположенных на радиоактивно загрязненной территории, к понятию «классификации» населенных пунктов по средним годовым эффективным дозам облучения жителей населенного пункта.

Таким образом, в отдаленном периоде после аварии на Чернобыльской АЭС в сложившейся ситуации существующего облучения для выявления и установления различий в обеспечения

соответствующего уровня радиационной и социальной защиты жителей населенных пунктов, расположенных на радиоактивно загрязненной территории, следует:

- переходить от термина «зонирование территории», к понятию «классификации населенных пунктов»;
- классифицировать населенные пункты по годовым эффективным дозам облучения репрезентативного лица среди жителей населенного пункта.

ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ РАСТЕНИЙ

Гераськин С.А.

ВНИИ радиологии и агроэкологии, г. Обнинск, Россия

stgeraskin@gmail.com

Комплексные исследования эффектов хронического радиационного воздействия в естественной среде обитания растений предпринимаются крайне редко в силу сложности постановки такого рода экспериментов и интерпретации полученных результатов. Тем не менее, именно такие исследования создают реальную основу для прогноза отдаленных последствий хронического облучения ионизирующим облучением. В сообщении представлены основные результаты многолетних наблюдений за разными видами растений, в разных радиозоологических ситуациях и климатических зонах (30-км зоны Чернобыльской и Фукусимской АЭС, Семипалатинский полигон, участки с повышенным уровнем естественной радиоактивности в Республике Коми, Польше и др.). Развивающиеся в условиях хронического облучения популяции характеризуются повышенными уровнями мутагенеза и полногеномного метилирования, изменениями экспрессии генов, генетической структуры популяции и временной динамики цитогенетических нарушений. Из представленных в докладе данных следует, что хроническое радиационное воздействие можно рассматривать как экологический фактор способный дестабилизировать временную динамику популяционных показателей, менять генетическую структуру популяций и модифицировать их гормональный статус. Следует отметить, что в адаптивных реакциях растений на хроническое радиационное воздействие важную роль играют эпигенетические механизмы.

Материалы выступления подготовлены при поддержке гранта РНФ № 21-16-00004.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОАКТИВНОГО ФАКТОРА НА ИХТИОФАУНУ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Городецкий В.Г., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

vgorodetsky@mail.ru

Выполнен сравнительный анализ мощности доз облучения рыб в р. Обь и в Белоярском водохранилище – водоеме-охладителе Белоярской атомной электростанции (АЭС). Вследствие отсутствия надлежащих технологических систем обращения с жидкими отходами радиохимического производства в 1949-1952 гг. с ПО «Маяк» в реку Теча, являющуюся частью Обь-Иртышской речной системы, было сброшено 100 ПБк (2,75 млн. Ки) радиоактивных отходов. Значительная часть радиоактивных веществ прошла транзитом по рекам Теча, Тобол, Иртыш и Обь в Обскую губу. Другая часть (~ 4,6 ПБк ^{137}Cs и ~ 4,3 ПБк ^{90}Sr) депонирована в донных отложениях рек и их пойменных почвах. Обь-Иртышская речная система также подвержена радиационному воздействию от Сибирского химического комбината, находящегося на площади водосбора реки Томь, впадающей в реку Обь. Суммарная активность радиоактивных отходов, хранящихся в подземных пластах этого предприятия, оценивается в настоящее время в 15 ЭБк (400 млн. Ки). Поступление техногенных радионуклидов в

Белоярское водохранилище обусловлено деятельностью Белоярской АЭС. В период с 1977 по 2019 гг. на Белоярской АЭС эксплуатировались реакторы разных типов. На первом этапе функционировали два блока с тепловыми реакторами АМБ-100 и АМБ-200. С 1989 по 2016 гг. функционировал только один энергоблок БН-600. В настоящее время работают два энергоблока с реакторами на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800. Результаты радиоэкологического мониторинга Обь-Иртышской речной системы охватывают период 2004-2017 гг., Белоярского водохранилища – с 1977 по 2019 гг. Для расчета мощности доз облучения использовали Европейскую компьютерную программу ERICA Tool. Учитывали массу и размерные характеристики каждого вида рыб, преобладающие в уловах, их образ жизни – доли времени обитания вблизи дна и в толще воды. Исходными данными для расчетов служило содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе, воде и донных отложениях. Для расчетов мощности доз облучения были взяты наиболее характерные для данных водоемов виды рыб. Полученные результаты показали, что дозовые нагрузки на ихтиофауну в реки Обь в границах Ханты-Мансийского (2004-2010 гг.) и Ямало-Ненецкого (2014-2017 гг.) автономных округов были достаточно стабильны на протяжении всего периода исследований и формировались в основном за счет ^{90}Sr , аккумулированного в организме рыб. Доля внутреннего облучения в общей дозе у разных видов рыб составила от 95 % у карася до 100 % у окуня. Доля вклада ^{137}Cs в общую дозу облучения была невелика и составляла от 18 % у карася и еще ниже у всех остальных видов рыб. В Белоярском водохранилище характер формирования дозовых нагрузок на ихтиофауну во многом зависел от типов энергоблоков, работающих в этот период на Белоярской АЭС. Более высокие дозовые нагрузки были отмечены в период работы двух первых энергоблоков АМБ-100 и АМБ-200, причем за счет внешнего облучения от ^{137}Cs . Мощность дозы облучения варьировала в интервале от 1 000 нГр/сут у щуки до 3 822 нГр/сут у леща. На долю ^{90}Sr в общей дозе приходилось не более 2-3 %. После вывода из эксплуатации первых двух энергоблоков отмечено снижение дозовых нагрузок у плотвы в 11,2 раза, у леща – в 10,4 раза, у щуки в – 2,3 раза. По мере снижения содержания ^{137}Cs во всех компонентах водоема-охладителя возросла роль ^{90}Sr и доля от внутреннего облучения, особенно у хищных видов – за счет поступления ^{90}Sr из тканей поедаемых ими рыб. Доля ^{137}Cs в формировании суммарной дозы облучения у щуки снизилась с 97 до 3 %, у окуня – с 57 до 14 %.

Значения мощности доз облучения у всех видов исследуемых рыб не превышали рекомендуемые Международной комиссией по радиационной защите – 1 мГр/сут.

ДАЛЬНИЕ МИГРАЦИИ МОЛОДЫХ СЕГОЛЕТОВ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК ПЕРЕНОСА БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ИЗ ЗОНЫ ЛОКАЛЬНОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Григоркина Е.Б., Оленев Г.В.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

grigorkina@ipae.uran.ru

Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) сформировался в результате аварии на ПО «Маяк» (1957 г.), Челябинская обл., Южный Урал. ^{90}Sr – основной дозообразующий радионуклид. Особенность зоны ВУРС – его конфигурация: узкая протяженная территория с резким падением градиента загрязнения, что способствует свободному перемещению мелких млекопитающих в любых направлениях, в т. ч. за пределы радиационного заповедника.

Цель работы – проверка возможности регистрации нерезидентной активности/миграций молодых животных (грызунов и бурозубок-землероек) в зоне влияния ВУРС. К категории молодых отнесены зверьки, помеченные через материнское молоко. Использована методика группового мечения родамином В, которая позволяет оценить миграционную активность животных, а также отследить дисперсии молодых особей, получивших метку с материнским молоком в подсосный период (Толкачев, Беспмятных, 2019). Диагностические признаки молочной метки изложены (Григоркина и др., 2022). Представлены материалы экспериментов в

природе, полученных в 2019 и 2021 гг. Мечение проведено в зоне ВУРС, контрольные отловы выполнены на разном удалении от площадки мечения, в том числе на фоновом участке, расположенном на расстоянии 9 300 м. Метку с родамином выявляли согласно Tolkachev, 2019.

Всего отловлено 231 животное, 59 особей (25,5 %) оказались с меткой. Среди них – 6 молодых зверьков (10,2 % от числа меченых) имели молочную метку: 3 малые лесные мыши (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), 2 полевые мыши (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771) и обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758). Самка *A. agrarius* и 2 самца *S. uralensis* были пойманы через 1,5 и 2,5 мес. на площадке мечения. Три других зверька переместились в разных направлениях: самец *S. araneus* (через 1,5 мес.) и самка *S. uralensis* (через 2,5 мес.) выловлены на контроле (9 300 м), что позволяет говорить об общем пути их перемещения. Самка *A. agrarius* оказалась в улове на удалении 1 500 м спустя 4 мес. после мечения. В итоге, отловлено шесть молодых сеголеток трех видов с молочной меткой (возраст мышей 1,5-2 мес.), объединенных общим местом рождения на участке мечения в зоне ВУРС. Половина из них имела статус резидентов, другая половина – статус дальних мигрантов, переместившихся на новые участки в процессе расселения.

Таким образом, впервые получены данные о миграциях молодых сеголеток разной экологической специализации (грызуны и бурозубка-землеройка) на дальние (1 500 м и 9 300 м) расстояния. При движении зверькам пришлось миновать ландшафтные неоднородности антропогенного происхождения. Дистанция дисперсии *S. araneus* (9 300 м) является наибольшей из известных. Экологический подход к оценке последствий радиационного воздействия позволяет заключить, что дальние перемещения за пределы домашнего участка обитания являются нормой для молодых животных. Это позволяет им осваивать новые участки в процессе расселения после выхода из гнезда. Для техногенных территорий локальной конфигурации (например, ВУРС) наличие подобных дисперсий имеет принципиальное значение. Это связано с воздействием поллютантов-радионуклидов на организм животных на ранних наиболее чувствительных и уязвимых стадиях онтогенеза, а также с переносом радиационно-индуцированных биологических эффектов на сопредельные территории.

Сбор полевого материала, анализ и интерпретация результатов выполнены в рамках государственного задания ИЭРиЖ УрО РАН № 122021000077-6, эксперименты в природе и выявление метки проведены при поддержке РФФИ (№ 20-04-00164).

НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs , ^{90}Sr И ^{241}Am БЕРЕЗОВЫМ СОКОМ В ЭКОСИСТЕМАХ С РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМОМ УВЛАЖНЕНИЯ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Калиниченко С.А., Никитин А.Н., Шуранкова О.А.

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», г. Хойники, Беларусь
s-a-k@list.ru

В результате проведенных исследований установлен ряд особенностей накопления радионуклидов березовым соком на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Общей особенностью выноса радионуклидов березовым соком является его значительное увеличение с повышением гидроморфизма почвы биогеоценоза, что существенно влияет на их биологическую доступность. В наших исследованиях разница между объемной активностью березового сока березняка гидроморфного и автоморфного для ^{137}Cs составила 6,9 раза, для ^{90}Sr такая разница составила 1,5 раза. В отношении ^{241}Am все полученные данные находились ниже уровня детектируемости, поэтому анализируя их можно говорить о выявленных закономерностях лишь как о тенденции. Тем не менее, анализ данных так же, как и в отношении других радионуклидов указывает на влияние повышенного увлажнения почвы биогеоценоза на накопление ^{241}Am березовым соком (увеличивается в 1,5-1,8 раза).

При радиационном контроле такой побочной продукции использования леса, как березовый сок, особое внимание следует обращать на накопление ^{90}Sr . Несмотря на значительное превышение поверхностного содержания ^{137}Cs в почве всех исследуемых сообществ (до 9,1 раза) по сравнению с другими радионуклидами, объемная активность его в березовом соке существенно ниже. По полученным нами данным содержание ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs в березовом соке березняка гидроморфного выше в 2,9 раза, березняка полугидроморфного – в 2,8 раза, автоморфного – в 13,8 раза, дезактивированного участка – в 9,0 раз.

Содержание гумуса в почве, емкость поглощения и гидролитическая кислотность снижаются по мере уменьшения влажности почвы биогеоценоза, а содержание обменного фосфора при этом существенно увеличивалось. При этом уменьшается и поступление радионуклидов в березовый сок, что можно использовать при прогнозировании накопления радионуклидов березовым соком. Концентрация подвижных калия, кальция и магния в почве не обнаружила никакой достоверной зависимости от режима увлажнения. Являясь биогенными элементами, их содержание в экосистеме обусловлено, прежде всего, наличием и параметрами живой составляющей сообщества. Жизнедеятельность живого напочвенного покрова, микрофлоры, почвенной мезофауны, грибов, наземных животных, птиц и др. способна существенно влиять на накопление этих элементов в экосистеме.

Расчет коэффициентов перехода и накопления радионуклидов березовым соком обнаружил аналогичную тенденцию более интенсивного их поступления на участках с повышенным увлажнением. Учитывая зависимость данных коэффициентов от множества факторов, способных повлиять на его величину, использование их в подобных исследованиях недостаточно объективно отражает процессы поступления радионуклидов при сравнении различных экспериментальных полигонов.

Анализ динамических процессов в течение всего периода сокодвижения указывает на тенденцию увеличения поступления радионуклидов в сок к окончанию периода сокодвижения. Однако в отношении ^{90}Sr наблюдается спад накопления в середине периода, разделяющий зависимость на 2 этапа. Различия в накоплении радионуклидов между начальным периодом сокодвижения и завершающим составляют для ^{137}Cs до двух и более раз. Для ^{90}Sr колебания концентрации в течение всего периода сокодвижения могут составлять до 4-5 раз. Обнаружена отрицательная корреляционная связь между интенсивностью соковыделения и концентрацией ^{90}Sr в березовом соке.

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ЗАМКНУТОГО ВОДОЕМА НА ТЕРРИТОРИИ ПГРЭС НА ЭТАПЕ ОТДАЛЕННЫХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Никитин А.Н., Калиниченко С.А., Сухарева Д.В.

ГНУ Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель, Беларусь
nikitinale@gmail.com, dianasuhareva@yandex.ru, irb@irb.basnet.by

Замкнутые водоемы являются аккумуляторами радионуклидов при горизонтальной миграции. Донные отложения служат основным депо техногенных радионуклидов, попавших в водоем. Гидрологический перенос является одним из возможных путей миграции радионуклидов и облучения человека. В 2019 г. проведено исследование сезонной динамики загрязнения воды оз. Персток ^{137}Cs . В весенний период содержание радионуклида в воде озера не превышает 6 Бк/л. С началом лета происходит повышение уровня загрязнения воды до 7-8 Бк/л, а начиная с сентября прослеживается тенденция к спаду объемной активности. Основная активность ^{137}Cs в весенний период сосредоточена в растворенной и коллоидной фракции (проходящих через поры диаметром 3-5 мкм).

Выполнен анализ содержания ^{137}Cs и ^{241}Am в донных отложениях оз. Персток в прибрежной зоне и центральной части водоема. Среднее содержание ^{137}Cs в донных отложениях, отобранных на глубине 20 см в прибрежной зоне, сильно зависит от расстояния

до уреза воды. Данная закономерность прослеживается на всех исследованных участках озера. Вблизи от уреза воды удельная активность ^{137}Cs в донных отложениях достигает 5,79-31,51 Бк/г. При удалении от уреза воды на 2 и 3 м, удельная активность радионуклида в донных отложениях снижается до 1,11-12,27 и 0,78-9,44 Бк/г. У образцов донных отложений с южного участка выявлена сильная вариабельность содержания ^{137}Cs . Удельная активность ^{241}Am существенно снижается по мере удаления от уреза воды. На расстоянии 1 м она колеблется в пределах 0,097-0,493 Бк/г, а на расстоянии 3 м не превышает 0,092 Бк/г.

Максимальная плотность загрязнения ^{137}Cs и ^{241}Am характерна для прибрежной полосы, и составляет по ^{137}Cs – 348-6 320 КБк/м², а по ^{241}Am – 6,31-99,0 КБк/м². В прибрежной зоне основная активность ^{137}Cs и ^{241}Am сосредоточена в верхних 10 см донных отложений. Удельная активность данных радионуклидов в верхнем 5-сантиметровом слое в 2,5 раза выше, чем в нижележащем, так на 10-15 см удельная активность ^{137}Cs и ^{241}Am снижается еще более резко. Распределение ^{90}Sr по слоям донных отложений имеет более плавное снижение.

Выполнен анализ послойного распределения загрязнения ^{137}Cs донных отложений в прибрежной зоне оз. Персток. Анализ данных показывает, что в разных участках озера максимальные значения плотности загрязнения достигаются в слоях от 0-2 см до 6-10 см. Выявленные различия вертикального профиля загрязнения донных отложений обусловлены характером поступления минеральных седиментов с поверхностными водными потоками, а также интенсивностью поступления радионуклидов с растительным опадом и биотурбации.

Основная активность радионуклида сосредоточена в верхнем 10-сантиметровом слое, с глубины 10,5 см наблюдается резкое снижение.

Плотность загрязнения дна оз. Персток ^{137}Cs составляет 903,9 КБк/м², а ^{241}Am – 15,1 КБк/м². Данные оценки сопоставимы со значениями плотности загрязнения донных отложений на расстоянии 1 м от уреза воды, но превышают значения на расстоянии 2 и 3 м от уреза воды. Проведенные исследования позволяют провести оценку запаса ^{137}Cs и ^{241}Am в основных компонентах бассейна оз. Персток. Можно оценить запас данного радионуклида в водной фазе в $7,48 \cdot 10^8$ Бк и заключить, что общий запас ^{137}Cs в донных отложениях оз. Персток составляет $7,98 \cdot 10^{10}$ Бк, а ^{241}Am – $1,33 \cdot 10^9$ Бк. Выполненная оценка содержания ^{137}Cs в слоях почвы водосбора оз. Персток позволяет заключить, что запас данного радионуклида в верхнем 2-сантиметровом слое почвы составляет в настоящее время $1,39 \cdot 10^{12}$ Бк, а в 20-сантиметровом слое почвы – $6,01 \cdot 10^{12}$ Бк; для ^{241}Am аналогичные показатели составляют $2,97 \cdot 10^{10}$ Бк и $1,10 \cdot 10^{11}$ Бк.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ^{137}Cs В ПОЧВАХ ПОЙМЕННЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ СНИЖЕНИИ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ

Никитин А.Н., Тагай С.А., Мищенко Е.В., Леферд Г.А.,
Ласько Т.В., Шуранкова О.А., Сухарева Д.В.

ГНУ Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель, Беларусь
nikitinal@gmail.com, lanabuz@tut.by, irb@irb.basnet.by

После аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) значительные площади луговых сообществ в поймах рек Днепр, Сож и Припять оказались загрязнены долгоживущими радионуклидами, которые включаются в пищевые цепи при вовлечении лугов в хозяйственный оборот. Под давлением многолетних изменений климата происходят процессы трансформации луговых экосистем, испытывающих давление со стороны фактора снижения влагообеспеченности. Уменьшение количества выпадающих осадков на протяжении вегетационного периода и их ливневой характер приводят к уменьшению запасов влаги в почве, что вызывает трансформацию форм нахождения присутствующих в почве радионуклидов. В этой связи является актуальным выявить, как снижение влагообеспеченности почвы в поймах влияет на изменение подвижности основного дозообразующего радионуклида – ^{137}Cs .

Образцы почвы центральной поймы реки Припяти отбирали на территории зоны отчуждения ЧАЭС. Удельная активность ^{137}Cs в почве находилась в пределах 6-8 кБк/кг. В лабораторных условиях почва была выдержана в течение 2-3 месяцев при различной влажности 100, 85, 70 и 40 % от полной влагоемкости (ПВ). Для количественной оценки мобильных форм ^{137}Cs использовали метод селективных экстракций. Водорастворимую форму извлекали дистиллированной водой, обменную форму – 1М NH_4Ac , лабильную форму – 0,025 М NaBPh_4 . Содержание ^{137}Cs определяли методом гамма-спектрометрии.

Экспериментально установлено резкое снижение доли водорастворимой формы ^{137}Cs в двух разновидностях аллювиальной пойменной почвы при продолжительном снижении влажности. В дерново-глееватой почве, развивающейся на супесчаном аллювии, четырехкратное снижение водорастворимой формы ^{137}Cs происходит при снижении влажности с 70 до 40 % ПВ. В дерново-глеевой почве, развивающейся на песчаном аллювии, аналогичное по величине снижение доли водорастворимой формы данного радионуклида наблюдается при снижении влажности со 100 до 85 % ПВ. Различия в пороге влажности, при котором происходит резкое снижение доли водорастворимой формы в почве, обусловлено особенностями комплексов специфического связывания цезия в данных почвах и их агрохимическими характеристиками.

Доля радиоактивного изотопа цезия в обменной форме не испытывает значимых сдвигов при изменении гидрологического режима. В то же время, продолжительное уменьшение влажности почвы со 100 до 40 % ПВ вызывает снижение на 24-36 % доли ^{137}Cs в лабильной форме, представляющей из себя ионы цезия, сорбированные на расширенных краевых участках межпакетных пространств слоистых глинистых минералов. Данное явление обусловлено уменьшением расстояния между слоями глинистых минералов со структурой типа 2:1 при снижении содержания влаги в почве. Это затрудняет выход из них Cs^+ , K^+ и NH_4^+ даже при возникновении сильного концентрационного градиента.

Таким образом, режим увлажнения почвы способен оказывать существенное влияние на содержание ^{137}Cs в водорастворимой и лабильной формах в аллювиальных почвах, что должно отражаться на его биологической доступности для корневого потребления растениями. Данное явление можно объяснить переходом и фиксацией Cs^+ в межпакетных пространствах слоистых глинистых минералов. Концентрирование цезия в почвенном растворе при уменьшении содержания влаги смещает динамическое равновесие в сторону данного прочнофиксированного состояния. Возврат же к исходному состоянию динамического равновесия при насыщении почвы влагой происходит медленно из-за низкой скорости этих процессов.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs В ДРЕВЕСИНЕ И КОРЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В НАСАЖДЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЛЕСА В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Никитин А.Н., Шуранкова О.А., Мищенко Е.В., Сухарева Д.В.

ГНУ Институт радиобиологии НАН Республики Беларуси, г. Гомель, Беларусь
nikitinale@gmail.com, shurankova@list.ru, irb@irb.basnet.by

В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) сосредоточено около 30 % выпавшего на территорию Беларуси ^{137}Cs . Условия произрастания (почвенно-эдафические условия и режим увлажнения) способны оказывать существенное влияние на параметры перехода радиоактивных изотопов из почвы в растения, поэтому даже на территориях с аналогичной плотностью загрязнения уровни загрязнения древесины сосновых насаждений могут сильно различаться.

Целью настоящей работы явилось определение зависимости коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в кору и древесину Сосны обыкновенной от типа леса.

Образцы почвы, древесины и коры отбирались на территории зоны отчуждения ЧАЭС. Стандартным пробоотборником диаметром 4 см отбирались образцы почвы на глубине 20 см

для определения плотности загрязнения территории ^{137}Cs . Образцы древесины отбирались приростным буром на высоте 1,3 м у 60 деревьев I-III классов роста (по Крафту). Измерение удельной активности образцов по ^{137}Cs проводили в соответствии с принятыми методическими рекомендациями с использованием гамма-спектрометра производства CANBERRA Packard.

Стандартным показателем, характеризующим закономерности поступления радионуклидов в растения, является коэффициент перехода (КП), который рассчитывается по отношению удельной активности в растительном образце к плотности загрязнения почвы.

В сосновых насаждениях на территории ПГРЭЗ значения плотности загрязнения по ^{137}Cs составили 195,2-3 768,7 кБк/м², удельная активность ^{137}Cs в древесине сосны обыкновенной – 127,6-8 214 Бк/кг, в коре – 1 388-54 233 Бк/кг.

КП ^{137}Cs из почвы в древесину сосны обыкновенной в насаждениях различных типов леса представлены в табл. 1. Наибольшие средние значения данного параметра отмечены в сосняке черничном, а наименьшие – в сосняке вересковом, здесь также отмечены минимальные значения КП ^{137}Cs в древесину, однако максимальные значения КП ^{137}Cs в древесину отмечены в сосняке мшистом.

Табл. 1. Распределение КП ^{137}Cs в древесину и кору сосны обыкновенной различных типов сосновых насаждений

Тип леса	КП в древесину					КП в кору				
	средняя	max	min	σ	V	средняя	max	min	σ	V
Мшистый	1,85 ± 1	5,48	0,62	1,35	73	7,84 ± 2,3	15,13	2,16	3,06	39
Черничный	2,51 ± 1,2	3,43	0,73	1,54	61	12,14 ± 7,9	22,24	3,31	9,4	77
Вересковый	0,8 ± 0,4	1,29	0,31	0,69	86	5,06 ± 2,5	8,81	1,69	3,58	71

Аналогичная закономерность характерна и для КП ^{137}Cs в кору сосны обыкновенной – наибольшие значения характерны для сосновых насаждений черничного типа, а наименьшие – верескового типа. Черничный тип сосновых насаждений относится к влажным эдафотопам, что может способствовать интенсивному переходу ^{137}Cs в кору и древесину сосны обыкновенной, тогда как вересковый тип сосновых насаждений относится к бедным и сухим эдафотопам, где отмечаются более низкие коэффициенты перехода ^{137}Cs как в древесину, так и в кору сосны обыкновенной.

АДВЕКТИВНО-ДИФфуЗИОННАЯ МОДЕЛЬ РАССЕЯНИЯ ТРИТИЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ШТАТНОМ ВЫБРОСЕ ОТ СТАЦИОНАРНОГО ИСТОЧНИКА

Обеснюк В.Ф.

ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, г. Озерск, Россия
v-f-o@subi.su

После введения в действие энергоблоков атомных электростанций (АЭС) в зоне их влияния неизбежно обнаруживается многократное увеличение радиационного фона, связанного с выпадением или концентрацией соединений трития в природных объектах (поверхностные воды, снег, почва, трава и листва деревьев, рыба в водоемах-охладителях, население зоны наблюдения). Замечено, что при стационарной работе реактора удельная активность (Бк/м³, Бк/л) трития, рассеянного в атмосфере и природных объектах, имеет тенденцию испытывать приблизительно обратно пропорциональную зависимость от радиуса до основного источника – вытяжной трубы реактора. Это обстоятельство указывает на то, что превышение активности над радиационным фоном связано преимущественно с диффузионным режимом рассеяния атмосферного трития, а не с аварийными выбросами. Появление же трития или его соединений в природных поверхностных объектах, прежде всего, обязано вторичному переносу и выпадению. Для проверки этой гипотезы и объяснения наблюдаемых закономерностей найдено точное фундаментальное решение линейного дифференциального уравнения адвективно-диффузионного переноса распадающегося радионуклида, поступающего от приблизительно

точечного источника (асимптотика), расположенного на уровне вентиляционно-технологического проема трубы реактора АЭС.

Прототипом явилась полуэмпирическая расчетная двумерная гауссова модель рассеяния дыма или условно «невесомых» технологических газов ТЭЦ или пыли, одобренная Минприроды России и МАГАТЭ. Оказалось, что для стационарного режима решение такой задачи возможно также в полноценной трехмерной геометрии без пренебрежения диффузионным рассеянием вдоль направления адвективного течения (вдоль направления ветра), если основной вклад в механизм перемешивания трития вносит турбулентная диффузия Прандтля.

Асимптотическое фундаментальное решение $q(x, y, z, h)$ уравнения модели, при условии пренебрежения ролью диффузионного осаждения трития на поверхность земли, имеет вид:

$$q = \frac{Q}{4\pi D_T} \left[\frac{1}{r_1} \exp\left(\frac{u \cdot x}{2D_T} - r_1 \sqrt{\left(\frac{u}{2D_T}\right)^2 + \frac{\lambda}{D_T}}\right) + \frac{1}{r_2} \exp\left(\frac{u \cdot x}{2D_T} - r_2 \sqrt{\left(\frac{u}{2D_T}\right)^2 + \frac{\lambda}{D_T}}\right) \right],$$

где q – объемная активность воздушной смеси (Бк/м³); D_T – коэффициент турбулентной диффузии, сохраняющий свое значение в «факеле» вентиляционной трубы реактора; u – скорость ветра, постоянно дующего вдоль оси x ; λ – постоянная распада; y – поперечная по отношению к ветру горизонтальная координата; z – вертикальная координата; $r_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + (z-h)^2}$; $r_2 = \sqrt{x^2 + y^2 + (z+h)^2}$; h – высота вытяжной трубы.

В условиях очень длительного наблюдения решение допускает простое усреднение по годовой «розе ветров». С расчетами сопоставлены результаты измерения объемной активности поверхностных вод 32 озер в 100-км зоне влияния ПО «Маяк» в Челябинской области и средней сезонной объемной приземной активности воздуха и осадков в зоне южно-корейской тяжеловодной АЭС «Wolsong». Согласие модели с наблюдениями соответствовало коэффициентам детерминации $R^2 = 0,912$ и $0,956$ соответственно. Модель может оказаться полезной при анализе данных штатного атмосферного мониторинга выбросов трития и, возможно, изотопа углерода-14.

ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНАКТИВАЦИИ *LISTERIA MONOCYTOGENES* В ЛИСТОВОМ САЛАТЕ

Полякова И.В., Васильева Н.А., Губина О.А., Ефимова Е.С., Фролова Н.А., Чиж Т.В.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, г. Обнинск, Россия
rira70@yandex.ru, irinaamchenkina@mail.ru

Листовой салат является популярным продуктом, источником необходимых человеку витаминов, минеральных веществ и клетчатки. Продается в горшочках с почвой или в срезанном виде, перед употреблением не подвергается тепловой обработке и может служить источником попадания возбудителя листериоза в организм человека. В заболеваемости листериозом роль овощных культур имеет очень важное эпидемиологическое и эпизоотическое значение. Бактерии не только находятся на поверхности листьев, но активно там развиваются даже при хранении в холодильнике.

В модельном эксперименте использовали обогащенную культуру бактерий *L. monocytogenes*, предварительно выделенных из сырого мяса курицы и идентифицированных в соответствии с ГОСТ 32031-2012 и с помощью метода MALDI TOF масс-спектрометрии. В качестве субстрата использовали салат листовой. Листья предварительно измельчали, а затем инокулировали суспензией *L. monocytogenes* с концентрацией 10^6 КОЕ/мл. Далее образцы облучали на гамма-установке ГУР-120 (ВНИИРАЭ) в диапазоне доз от 100 до 3 000 Гр. Контролем служили образцы, не подвергнутые радиационной обработке. Количество

выживших *L. monocytogenes* определяли стандартным методом с использованием среды ПАЛКАМ, и импедансным методом на приборе «БакТрак 4300» и выражали в КОЕ/г.

В результате в образцах измельченного листового салата, контаминированных *L. monocytogenes* и подвергнутых облучению гамма-излучением в дозах более 1,7 кГр бактерий *L. monocytogenes* обнаружено не было. В образцах, облученных в дозах менее 1 кГр, наблюдается задержка роста микроорганизмов и снижение их количества (рис. 1) относительно контроля на 8,94 ч при дозе 0,2 кГр и на 43,88 ч при дозе 0,647 кГр.

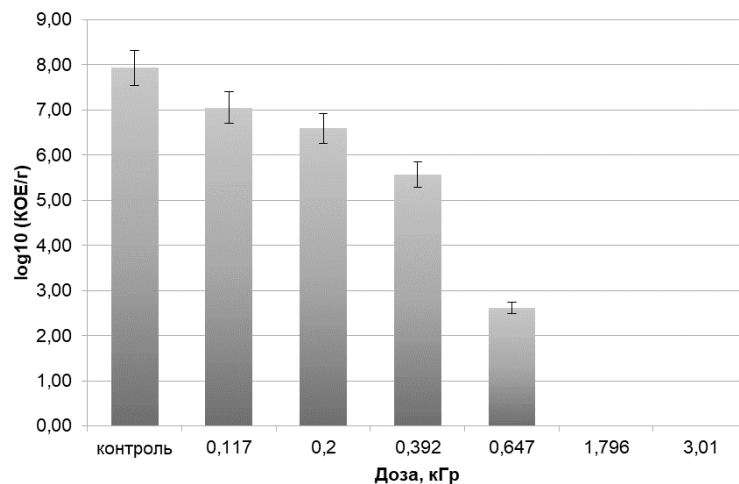


Рис. 1. Снижение количества жизнеспособных клеток *L. monocytogenes*

в образцах листового салата в зависимости от поглощенной дозы гамма-излучения

Внешний вид и органолептические свойства листового салата изменялись только при облучении в дозе 3,01 кГр (изменился цвет и плотность листьев).

По итогам работы можно рекомендовать облучение гамма-излучением свежего листового салата в дозе от 1,5 до 3 кГр в качестве меры предотвращения риска заболевания листериозом.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ ОСТРОЙ ФИТОТОКСИЧНОСТИ Cs-137 У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.)

Савельева К.В., Парамонова Т.А., Кузьменкова Н.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
universe2910.67@gmail.com

Целью данного исследования было изучить эффект острой фитотоксичности на проростках пшеницы, определить качественные и количественные реакции проростков на высокие дозы облучения и выявить наиболее чувствительные маркеры абиотического стресса растений на ранних стадиях развития. Метод проростков, на котором основано это исследование, позволяет быстро и наиболее точно оценить реакцию растений на воздействие экотоксикантов. Влияние таких антропогенных радиоактивных загрязнителей, как ^{137}Cs , на ранних этапах развития растений изучено недостаточно.

Для выявления эффектов острой фитотоксичности исследовались следующие параметры: всхожесть и энергия прорастания семян, биометрические параметры (длина и площадь побегов и корней, сухая и сырая биомасса, содержание сухого вещества). Также был проведен гамма-спектрометрический анализ для расчета коэффициента накопления радионуклида и выявления особенностей распределения ^{137}Cs между корнями и побегами проростков пшеницы. Использовались ^{137}Cs -содержащие растворы со следующими удельными активностями: 25, 50, 100, 250, 500 и 750 кБк/л; контролем служили образцы проростков пшеницы, выращенные на дистиллированной воде.

Значимый негативный эффект на всхожесть и энергию прорастания семян пшеницы наблюдался только в варианте растворов с удельной активностью ^{137}Cs 750 кБк/л. Так, четверть

семян на 7-е сутки опыта оставались только на стадии набухания, в то время как в остальных вариантах все семена развивались до стадии появления боковых корней уже на 5-е сутки опыта. Одновременно с этим под воздействием ^{137}Cs -содержащего раствора с удельной активностью 750 кБк/л у семян, перешедших от стадии набухания к стадиям роста, шло более быстрое развитие проростков. В остальных вариантах опыта наблюдался тренд к стимуляции всхожести и увеличения сырой биомассы проростков за счет возрастания степени обводненности растительных тканей. При этом показатель содержания в растениях сухого вещества демонстрировал соответствующее снижение количественных значений. Помимо этого, во всех вариантах опыта наблюдалось появление некроза у проростков, что не отмечалось в контрольном проращивании.

Результаты измерения биометрических параметров проростков пшеницы выявили, что статистически значимые отличия измеряемых параметров в разных вариантах опыта от контроля наблюдались в большей степени у побегов, чем у корней. Так, средняя длина и площадь побегов уменьшились на 30 и 34 % соответственно в варианте с удельной активностью ^{137}Cs 750 кБк/л. При анализе сухого вещества побегов наблюдалась тенденция к повышению этого параметра, т. е. вытягивание и утончение побегов, в вариантах опыта с высокими активностями (500 и 750 кБк/л).

Результаты гамма-спектрометрического анализа показали, что переход ^{137}Cs в проростки пшеницы был интенсивным и пропорционально возрастал с увеличением удельной активности радионуклида в растворах. Минимальный уровень накопления ^{137}Cs в сухой биомассе составили ≈ 300 кБк/кг, максимальный ≈ 6 МБк/кг. При этом коэффициент накопления ^{137}Cs в растениях колебался в относительно узких пределах и составлял в среднем 9,4 (6,7-12,3). Накопление радионуклида происходило преимущественно в побегах пшеницы (0,98 до 16,7 пмоль) и отличалось от накопления в корнях (0,47 до 12,5 пмоль) в среднем на 35 %.

Таким образом, очевидный эффект острой фитотоксичности ^{137}Cs был отмечен только в растворах с удельной активностью радионуклида > 500 кБк/л; под воздействием менее концентрированных растворов фитотоксичность ^{137}Cs была не столь очевидной и не оказывала значительного влияния на рост и развитие пшеницы.

СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Сайфулина Е.А., Кашкинбаев Е.Т., Иса Ж.К., Шокабаева А. С., Джанабаев Д.Д., Казымбет П.К.
Институт радиобиологии и радиационной защиты,
НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан
irrp@amu.kz

Проблема экологически детерминированной патологии актуальна для урановых регионов Казахстана, к которым относится Сырдарьинская урановорудная провинция Южного Казахстана. Там находятся предприятия, на которых ведется добыча урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Данный метод играет важную роль в производстве урана в мире. Однако технология ПСВ может быть экотоксичной и оказать серьезное воздействие как на окружающую среду, так и на здоровье человека. Объектом нашего исследования явилось население села Бидайколь, которое расположено в 4 км от уранодобывающего предприятия и где было выявлено превышение среднереспубликанских значений удельной активности радионуклидов в почве и воде. Комплексное изучение влияния экологических факторов на здоровье населения должно обязательно учитывать принцип «обратной связи». В связи с этим целью исследования явилось изучение отношения населения, длительно проживающего вблизи действующих урановых предприятий к экологической ситуации в регионе и ее влияния на их здоровье.

В социологическом опросе населения принимали участие жители села Бидайколь обоого пола – 330 человек (выборочная совокупность от взрослого населения с доверительной

вероятностью 95 %). Анкетирование было проведено в 2022 г. поперечным методом исследования специально разработанным опросником, позволяющим определить отношение респондентов к экологической обстановке в регионе с самооценкой собственного здоровья.

По результатам опроса населения подавляющее число респондентов (67,5 %) расценивают экологическую ситуацию в населенном пункте как неблагоприятную. При этом особенности окружающей среды, характерные для региона проживания жители поселков называют следующие: загрязнение воздуха пылью (32,7 %), наличие в регионе вредных производств (30,8 %), плохое качество питьевой воды (15,4 %) и т. д. Среди опрошенного населения 30 % жителей имеют в наличии земельные участки в черте населенного пункта, где сами выращивают овощи и фрукты. При этом большинство респондентов в селе Бидайколь употребляют в пищу продукты, выращенные в данной местности – 55 %. Большинство респондентов (60 %) сами держат скот, жители, которые не имеют хозяйства (38 %) выбирают только местную продукцию животного происхождения. Всего лишь 2 % опрошенных питаются привозной продукцией. Оценка жителями села Бидайколь состояния собственного здоровья показывает, что большинство опрошенных – 47,5 % расценивает его как «хорошее», 37,5 % как «удовлетворительное» и «плохое», 15 % затруднились ответить. Тем не менее, подавляющее большинство респондентов (52,5 %) нарушения здоровья напрямую связывают с загрязнением окружающей среды.

Таким образом, вопросы экологической обстановки населенного пункта, расположенного вблизи уранодобывающего предприятия волнуют местных жителей. Экологическую ситуацию большинство оценивает как неблагоприятную, называя близость промышленных предприятий в числе основных негативных факторов в зоне проживания. Результаты исследования показывают, что существует большой риск употребления в пищу сельскохозяйственных продуктов, выращенных на загрязненных территориях, так же, как и местной продукции животного происхождения. В регионе требуется усилить меры по поддержанию концентрации радионуклидов в почве и воде в пределах допустимых норм и снижения радиационных рисков для здоровья населения, проживающего вблизи урановых предприятий.

РИСК РАЗВИТИЯ ПАТОЛОГИИ ПОЧЕК У НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сайфулина Е.А., Кашкинбаев Е.Т., Шокабаева А.С., Джанабаев Д.Д., Казымбет П.К.

Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

irrp@amu.kz

В населенных пунктах, находящихся в зоне влияния действующих уранодобывающих месторождений Сырдарьинской урановорудной провинции Казахстана, в почве и воде было выявлено превышение удельной активности трансурановых радионуклидов по сравнению со среднереспубликанскими значениями. Известно, что при загрязнении окружающей среды возрастает нагрузка на элиминирующую функцию почек, что способствует более частому развитию экологически обусловленной почечной патологии. Тем более уран оказывает токсическое действие на почки и как тяжелый металл, и как альфа-излучающий радионуклид.

Целью работы было оценить риск развития патологии почек у населения, проживающего вблизи предприятий урановой промышленности в зависимости от пола, возраста и продолжительности проживания в регионе. В работе представлены результаты когортного исследования среди взрослого населения, проживающего в зоне влияния уранодобывающих предприятий – села Бидайколь Кызылординской области, которое расположено ближе всего к уранодобывающему предприятию (основная группа, $n = 2\ 051$), а в качестве контрольной группы – жители села Сунаката Жанакорганского района Кызылординской области (контрольная группа, $n = 1\ 102$).

Анализ данных показал, что основными заболеваниями, характерными для изучаемого региона являются болезни мочевой системы. Их распространенность составила 641,6 на 1 000 человек села Бидайколь и превышала данный показатель в контрольной группе почти в 2 раза (343,9 на 1 000 человек, $\chi^2 = 255,6$; $p = 0,00$). Среди них было выявлено 840 случаев болезней почек – 409,6 на 1 000 человек, что в 1,5 раза выше чем у населения контрольной группы (275,9; $\chi^2 = 55,4$; $p = 0,00$).

Почечная патология была распространена во всех возрастных группах с пиком в возрасте 30-40 лет – 757,3 на 1 000 человек. Статистически значимые различия были выявлены и по половой принадлежности: среди женщин распространенность их была выше в 2 раза и составила 892,0 против 427,8 на 1 000 человек. У лиц обоих полов преобладали заболевания, относящиеся к категории «хронические тубулоинтерстициальные нефриты». Исследуемый контингент основной группы подразделялся на подгруппы в зависимости от длительности проживания на территории вблизи предприятия уранодобывающей промышленности: 10-20 лет, 20-30 лет и более 30 лет. Распространенность заболеваний почек нарастала с увеличением срока проживания на территории урановорудной провинции. Так, у населения, проживающего на данной территории 10-20 лет частота встречаемости почечной патологии составила 75,3 на 1 000 населения, более 30 лет – 366,7 ($\chi^2 = 35,4$; $p = 0,00$).

Таким образом, результаты проведенных исследований показали высокую распространенность заболеваний почек у жителей села Бидайколь по сравнению с контрольной группой. Болезни почек преобладали у населения в возрасте 30-40 лет, патология чаще встречалась у женщин и увеличивалась вместе со сроком проживания на территории в зоне влияния предприятия урановой промышленности. Не исключается влияние факторов радиационной и химической природы на возникновение болезней почек у людей, длительно проживающих вблизи уранодобывающего предприятия.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И СТРУКТУРА СОМАТИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ У НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Казымбет П.К., Джанабаев Д.Д., Кашкинбаев Е.Т., Сайфулина Е.А., Шокабаева А.С.

Институт радиобиологии и радиационной защиты,

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

irrp@amu.kz

Месторождения Южный и Северный Карамурун являются главными минеральными ресурсами ураносодержащей Сырдарьинской провинции Казахстана. Рядом с уранодобывающим предприятием расположены населенные пункты: Бидайколь, Акмая, Шиели, имени Жакаева и другие, где возможно негативное влияние радиоэкологической ситуации на здоровье населения. Цель нашего исследования состояла в оценке риска воздействия техногенных факторов уранодобывающих предприятий на состояние здоровья населения, проживающего вблизи Сырдарьинской урановорудной провинции.

В работе представлены результаты когортного исследования жителей, проживающих в зоне влияния уранодобывающих предприятий – села Бидайколь Кызылординской области, которое расположено в 4 км от уранодобывающего предприятия ($n = 3\ 754$), а в качестве контрольной группы – жители села Сунаката Жанакорганского района Кызылординской области, расположенного в 15 км от ближайшего уранодобывающего предприятия ($n = 1\ 851$). Основным критерием отбора в группы исследования явился длительный срок проживания на данных территориях. Изучалась частота возникновения болезней с 2010 по 2022 гг., рассчитывались относительные риски (RR) для всех классов болезней. Категориальные переменные сравнивали с использованием непараметрического χ^2 -теста.

Распространенность острых и хронических заболеваний всех классов населения села Бидайколь в 1,3 раза превышала таковые показатели контрольного населенного пункта – села

Сунаката. В структуре заболеваемости первые ранговые места среди населения основной группы составили болезни мочевой, сердечно-сосудистой и дыхательной систем. На сумму удельного веса этих трех классов заболеваний приходится более половины (53,3 %) всех случаев заболеваний. В группе контроля заболевания мочевой системы также были на первом месте, далее – болезни системы кровообращения и пищеварения. При этом распространенность заболеваний мочевой системы составила 641,6 на 1 000 человек села Бидайколь и превышала данный показатель в контрольной группе почти в 2 раза (343,9 на 1 000 человек, $\chi^2 = 255,6$; $p = 0,00$). Среди заболеваний мочевой системы преобладали тубулоинтерстициальные болезни почек. Относительные риски (RR) высокими оказались для болезней крови – RR = 2,6 с доверительным интервалом (ДИ) 2,0-3,3, кожи – RR = 2,3, ДИ 1,6-3,5, болезнью мочевой системы – RR = 1,9, ДИ 1,7-2,1.

Таким образом, результаты эпидемиологического исследования свидетельствуют о более высокой заболеваемости жителей населенных пунктов, расположенных вблизи действующих урановых месторождений Сырдарьинской урановорудной провинции. Для жителей села Бидайколь характерны болезни мочевой системы, системы кровообращения и дыхания. Наиболее распространенными заболеваниями для изучаемого региона являются болезни почек.

ЭТАПЫ РАДИОАДАПТАЦИИ ГРЫЗУНОВ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

Стариченко В.И.¹, Любашевский Н.М.²

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²Israeli Independent Academy for Development of Sciences, Israel

starichenko@ipae.uran.ru, nahum.nema@mail.ru

Авария на ПО «Маяк» в 1957 г. привела к острому внешнему облучению грызунов Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), дополненному хроническим внешним и внутренним облучением. За счет распада короткоживущих радионуклидов изотопный состав загрязнения постепенно сократился, снизилась интенсивность излучения. Изменения для грызунов прошли несколько этапов: летальность, увеличение численности, оседлость. Непосредственно после аварии – массовая лучевая гибель, прекращение воспроизводства, опустошение. Через полгода-год экспансия с сопредельных «чистых» территорий становится настолько интенсивной, что численность местами поднимается выше исходной.

Остро-подострое аварийное облучение инициировало эпигенетические преобразования различных локальных генотипов адаптивно-неспецифического характера, как одной из эволюционно закрепленных форм популяционной реакции на продолжительную чрезвычайную ситуацию. Эта картина не соответствует классическому представлению о ведущей роли в развитии адаптации преадаптивных генотипов и адаптивных мутаций. Однако она согласуется с хорошо аргументированным представлением о роли эпигенетических процессов в популяциях ВУРСа (Васильева и др., 2003; Васильев, 2005; Любашевский и др., 2008) и непротиворечиво объясняет выявленную как в Чернобыле (Meeks et al., 2006, 2009), так и на ВУРСе (Modorov, Pozolotina, 2011) генетическую однородность грызунов на радиоактивно загрязненных и на соседних «чистых» территориях. При этом в действительности импактная группировка выделяется множественными особенностями демографии и морфо-физиологии (например, воспроизводством, миграционной активностью, частотой фенотипических aberrаций, цитогенетическими и гематологическими сдвигами и др.). Фактором изоляции выступает радиотоксичная среда, ограничивающая иммиграцию в нее неадаптированных особей извне. Селективные преимущества приобретают адаптированные потомки, даже отягощенные генетическим грузом с множественными фенотипическими проявлениями, вплоть до выраженной патологии. Повышенная рождаемость обеспечивается угнетением иммунных механизмов контроля генетической полноценности потомства. В то же время у мигрирующих

мышей и полевок адаптация не может завершиться из-за постоянного обмена генным материалом с особями из соседних неадаптированных популяций.

Обыкновенная слепушонка (*Ellobius talpinus* Pallas) прошла на ВУРСе особый путь адаптации. На фоновых территориях миграционная активность молодых возрастных групп очень высока, до 80 % в год (Евдокимов, 2013). В годы исследования (2001-2003 гг.) ее миграционная активность (оценена по удельной активности ^{90}Sr в скелете) отсутствовала: ни одно из проанализированных животных не отличалось от среднего более чем на 60 %. Полагаем, что начальный этап радиоадаптации должен был произойти очень быстро, не более чем за 2-3 поколения. Во время аварии особи, находящиеся на открытой местности, получили летальную дозу. Слепушонки при подземном обитании были защищены слоем земли. Нарастание поглощенной дозы в течение 1-2 лет было связано, очевидно, с питанием загрязненными продуктами. Существенно, что слепушонка адаптировалась не только к радиоактивной среде, но и к утере жизненно важного процесса – миграционного обновления населения колонии. Наблюдаемый совершенный уровень радиоадаптации радиобиологически проявляется полным отсутствием патологии, характерной для поглощенных доз облучения.

Описанная картина изменения состояния импактных грызунов под влиянием многолетнего облучения (более ста поколений) может быть охарактеризована как формирование адаптированной к радиационным условиям популяционной группировки.

Экспериментальная работа и интерпретация результатов проведены в рамках государственного задания ИЭРиЖ УрО РАН (№ 122021000077-6).

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (ПОТЕПЛЕНИЯ) НА ПАТОГЕННОСТЬ *Salmonella typhi*, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ

Тойчуев Р.М., Жолдошов С.Т., Тойчуева Г.Р.

Институт медицинских проблем Южного отделения НАН Кыргызской Республики,
Медицинский факультет Ошского государственного университета,
Ошская городская клиническая больница, г. Ош, Кыргызская Республика
impnankr@gmail.com

Несмотря на комплекс проведенных противоэпидемиологических мероприятий, включая фагирование водного пути заражения брюшным тифом (БТ), в урановой зоне с 1997 г. и по настоящее время регистрируются случаи заболеваемости БТ, а с 2005 г. БТ стал регистрироваться в нехарактерное для данного заболевания зимнее время года. Ввиду этого, изучение данной проблемы с учетом изменения климата и его влияния на сезонные колебания заражения БТ водным путем в урановых зонах представляется важным и необходимым. Целью работы было изучение влияния изменения климата на патогенность возбудителя *Salmonella typhi*, находящегося в водной среде, загрязненной радионуклидами.

Для изучения влияния изменения климата и содержания в воде естественных радионуклидов урана и тория на водный путь заражения брюшным тифом в холодное время года были изучены данные 791 пациента, переболевшего БТ, которые проживали в пойме реки Майлуу-Суу, проходящей через урановые зоны, также были изучены заполненные специально разработанные карты исследования и использованы данные с 2002 по 2012 гг., опубликованные на сайте Департамента государственного санитарно-эпидемиологического надзора Министерства здравоохранения Кыргызской Республики (<http://www.dgsen.kg/podrazdel.php?podrazdel=226>).

В месте проведения исследований, минусовая температура наблюдалась только в зимнее время года, т. е. в декабре-феврале. С 1997 г. до февраля 2004 г. в этой зоне температура составляла $-3,125 \pm 0,25$ °C (max $-4,2$ °C; min $-1,8$ °C). С 2004 г. температура повысилась, составляя в феврале 2005 г. $-1,1 \pm 0,16$ °C (max $2,1$ °C; min $0,6$ °C), а с декабря 2005 г. по февраль 2006 г. отмечалась плюсовая температура, составляя $+4,11 \pm 0,48$ °C (max $+6,4$ °C; min $+2,0$ °C). Если до 2004 г. заболеваемость БТ регистрировалась в период с июня по сентябрь, то в 2005 г.

случаи заболевания БТ стали регистрироваться с октября – 12 случаев (37,5 %), в ноябре – 17 (53,125 %), в декабре – 3 (9,375 %). В 2006 г. в январе и феврале число заболевших БТ составило 18,2 %, в декабре – 5,2 %. С 2007 по 2012 гг. из 476 пациентов на январь и февраль пришлось 43 случая или 9,03 %, на декабрь – 28 (5,89 %); всего 14,91 %. За эти годы продолжительность холодного периода составила от 10 до 60 суток. Температура в зимнее время колебалась от $-0,95 \pm 0,0$ °С (max $-1,1$ °С; min $-0,8$ °С до $-3,125 \pm 0,7$ °С; $p < 0,01$; max $7,0$ °С, min $0,5$ °С.

Таким образом, особенность водного пути заражения БТ у жителей урановой зоны после потепления климата на $+4,11 \pm 0,48$ °С состоит в том, что случаи БТ стали регистрироваться и в зимнее время, а в последующие годы, несмотря на минусовые температуры, водный путь заражения БТ фиксировался в зимнее время года. Этот вопрос требует проведения исследований изменения штаммов, молекулярной структуры, патогенности и активности *S. typhi*, выделенных из окружающей среды. В плане биологической безопасности в перспективе требуется разработка способов лечения носительства БТ и способов устранения источника инфекции.

ПРОБЛЕМЫ БРУЦЕЛЛЕЗА СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В УРАНОВОЙ ЗОНЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Тойчуев Р.М., Жолдошов С.Т., Тойчуева Г.Р.

Институт медицинских проблем Южного отделения НАН Кыргызской Республики,

Медицинский факультет Ошского государственного университета,

Ошская городская клиническая больница, г. Ош, Кыргызская Республика

impnankr@gmail.com

Если бруцеллез в безурановых зонах удалось ликвидировать еще в Советском Союзе, то среди населения, проживающего в урановой зоне, несмотря на принятые санитарно-эпидемиологические мероприятия, случаи заболеваемости бруцеллезом регистрируется с 1969 г. по настоящее время и не имеют тенденции к снижению.

Целью работы было изучить особенности заболеваемости бруцеллезом у населения, проживающего в урановой биогеохимической зоне и в пойме р. Майлуу-Суу, проходящей через урановые зоны, т.е. зоны, где местное население употребляет воду, загрязненную естественным ураном и торием.

Эпидемиологическому анализу подверглись 559 пациентов, переболевших острым бруцеллезом в период с 2001 по 2015 гг., которые проживали непосредственно в урановой биогеохимической зоне – в г. Майлуу-Суу, где в течение 22 лет добывался уран. Для контроля-сравнения с г. Майлуу-Суу взяли вторую группу из г. Таш-Кумыра, расположенного на той же высоте над уровнем моря, на близкой географической параллели и со сходными условиями проживания. После распада Советского Союза за 10 лет здесь было зарегистрировано 202 случая заболевания бруцеллезом. Также изучали заболеваемость населения, проживающего на территории, окружающей г. Майлуу-Суу, и населения, проживающего в пойме р. Майлуу-Суу. В этом районе за 10 лет зарегистрировано 868 случаев заболевания бруцеллезом. В зависимости от источника водопотребления (вода, загрязненная ураном и торием и безурановая вода), исследуемые распределены на 2 группы. В 1 группу вошли пациенты с бруцеллезом, проживающие в сельских управах Бурганды, Момбеково и Достук, расположенных в 13-40 км вниз по течению р. Майлуу-Суу, проходящей через урановую биогеохимическую зону. Из 581 случая, во 2 контрольную группу вошли 287 пациентов с бруцеллезом, не подверженные влиянию урановых факторов, т.е. проживающие в том же Ноокенском районе, но с водопотреблением из других рек – Шайдан-Сай и Кызыл-Ункур.

Заболеваемость бруцеллезом населения г. Майлуу-Суу за последние 10 лет составляла $M = 177,25 \pm 33,97$ на 100 тыс. населения против такого же показателя города г. Таш-Кумыр $56,16 \pm 42,63$ ($p < 0,001$). В безурановой зоне интенсивный показатель заболеваемости

бруцеллезом составил $35,95 \pm 6,85$; среди употреблявших воду из р. Майлуу-Суу (часть населения, проживает вблизи урановых зон и осуществляет выпас скота вблизи урановых территорий – сельская управа Бургонду) заболеваемость на 100 тыс. населения составила $196,77 \pm 29,30$: села Момбеково – $117,27 \pm 33,17$ и Достук $114,46 \pm 20,23$ ($p < 0,001$), что по сравнению с безурановыми факторами в 5,5; 3,2 и 3,1 раз выше.

Таким образом, заболеваемость бруцеллезом среди населения, проживающего в урановой зоне и употребляющего воду, загрязненную радионуклидами урана и тория, в 3-5 раз выше, чем в безурановой зоне. Для выявления причин повышенной заболеваемости необходимо проведение углубленных молекулярно-генетических исследований возбудителя бруцеллеза.

МОДЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ *LISTERIA MONOCYTOGENES* В ПИТАТЕЛЬНОМ СУБСТРАТЕ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Фролова Н.А., Полякова И.В., Губина О.А., Васильева Н.А.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, г. Обнинск, Россия
rira70@yandex.ru, nafc@yandex.ru

В качестве объекта исследования были выбраны микроорганизмы *L. monocytogenes* из-за их распространенности в окружающей среде и опасности, как возбудителя пищевых инфекций, которые обусловлены употреблением в пищу продуктов животного и растительного происхождения.

Математическое моделирование процесса роста жизнеспособных микроорганизмов в рассматриваемых нестерильных матрицах (продуктах питания) позволяет оценить воздействие на присутствующую микрофлору вводимых в состав консервантов или дополнительных факторов, таких как обработка ионизирующим излучением.

Для описания роста *L. monocytogenes*, присутствующих в питательном субстрате, была использована 4-параметрическая модель Бараньи и Робертса. Ввиду того, что после достижения максимальной плотности популяции наблюдается дальнейшее медленное снижение в исходную модель, было введено дополнительное слагаемое. Кроме того, применение облучения гамма-излучением, как дополнительного фактора оказывает влияние на скорость процессов роста, размножения и жизнеспособность клеток.

$$y(t) = \ln x(t) = y_0 + \mu_{max} A(t) - \ln \left(1 + \frac{e^{\mu_{max} A(t)} - 1}{e^{y_{max} - y_0}} \right) + B \exp \left(- \frac{C}{(t - t_{max})^2} \right) \quad (1)$$

Два дополнительных коэффициента – B и C , описывают влияние внешних факторов (т. е. количества питательных веществ и условий для нормального развития) на размер популяции микроорганизмов (уравнение 1). Для расчетов коэффициент B брали равным $-0,889$, а коэффициент C – 100 .

Используя представленную модель и численный метод, была проведена оценка изменения количества *L. monocytogenes* в питательном субстрате в зависимости от времени и величины поглощенной дозы облучения с учетом влияния лимитирующих факторов. Результат представлен на рис. 1.

В результате проведенного анализа показано, что, главным образом, облучение влияет на количество жизнеспособных клеток *L. monocytogenes* и длительность лаг-фазы (при дозе порядка 3 кГр задержка роста составляет 50 ч, а при дозе $1,8$ кГр – 30 ч). Используемые параметры не являются окончательными и требуют более детальной оценки.

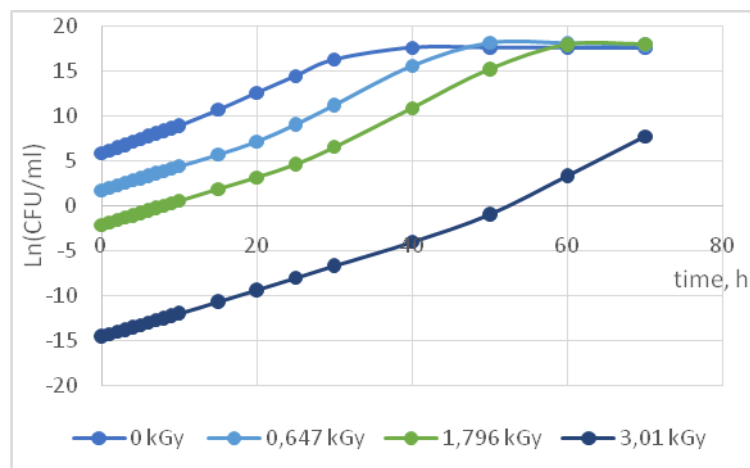


Рис. 1. Динамика роста *L. monocytogenes* в питательном субстрате после облучения в разных дозах (с учетом лимитирующих факторов)

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА АМЕРИЦИЯ И ПЛУТОНИЯ В МОЛОКО, ОРГАНЫ И ТКАНИ ЖИВОТНЫХ ИЗ ПОЧВЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ РАЦИОНА

Царенок А.А.¹, Тагай С.А.¹, Макаровец И.В.¹, Нилова Е.К.², Аверин В.С.³

¹ГНУ Институт радиобиологии НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь

²ГНТУ Центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Минск, Беларусь

³УО Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь

lanabuz@tut.by, a.tsarenok@tut.by, irb@irb.basnet.by

На территории Республики Беларусь после катастрофы на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) создана система радиационного контроля, которая серьезное внимание уделяет обеспечению соответствия молока и продуктов убоя скота критериям безопасности по основным дозообразующим радионуклидам ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Загрязнение Беларуси трансурановыми элементами (ТУЭ) носит локальный характер и ограничено в основном границами Полесского государственного радиационного экологического заповедника, однако на прилегающих к нему сельскохозяйственных землях актуальной является оценка уровней возможного поступления ТУЭ в молоко, органы и ткани животных. С использованием лактирующих мелких жвачных животных (коз) проведены контролируемые физиологические опыты, в которых козы получали доминирующий фактор загрязнения кормов ТУЭ – ²⁴¹Am, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu почвенную затравку в течение двух сроков скармливания – 80 и 160 суток. Почва (минеральная и органогенная) для затравки отбиралась на территории белорусского сектора 30-км зоны ЧАЭС. Получены параметры перехода (CR – концентрационное отношение, F_m, F_f – коэффициенты перехода) ТУЭ в молоко, органы и ткани коз из почвенной компоненты рациона. Параметры рассчитаны с учетом международных рекомендаций МАГАТЭ TRS-472, TECDOC 1616.

Установлено, что параметры CR, F_m, F_f перехода ТУЭ в молоко, органы и ткани коз за период поступления животным контролируемой почвенной затравки в течение 160 суток образуют следующий ряд: печень > костная ткань > мышечная ткань > молоко, при этом параметры для каждого следующего продукта отличаются от предыдущего на порядок величины более низкими значениями. Самый высокий переход ТУЭ характерен для печени экспериментальных животных и составляет десятые доли процента от суточного поступления этих радионуклидов с кормом. Коэффициенты перехода F_f (сутки·кг⁻¹) америция и плутония в печень коз из известных в литературе аналогичных параметров сопоставимы только с переходом этих радионуклидов в содержимое яйца.

Средние значения коэффициентов перехода F_m ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в молоко коз из органогенной почвенной затравки животным за каждый период 80 и 160 суток превышают до 1,5 раз таковые параметры за аналогичный период из минеральной почвенной затравки.

Коэффициент перехода F_m (сутки·л⁻¹) ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в молоко коз не является постоянной величиной и зависит от продолжительности поступления загрязненного ТУЭ корма. На 160-е сутки скармливания органогенной затравки F_m ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в молоко увеличился до 4 и 3 раз, соответственно, по сравнению с F_m этих радионуклидов на 80 сутки. Размеры перехода ²⁴¹Am в молоко коз сопоставимы и находятся в одном порядке величины с данными справочника МАГАТЭ TRS-472. Размеры перехода ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в молоко коз за периоды 80 и 160 суток находятся в одном порядке величины с ²⁴¹Am – 10^{-5} - 10^{-6} сутки·л⁻¹, что составляет тысячные доли процента от суточного поступления этих радионуклидов в составе рациона. Имеющиеся в базе данных МАГАТЭ единичные записи по концентрационным отношениям ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в мясо баранины практически совпадают с CR ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в мышечную ткань коз и составляют сотые доли процента от поступления этих радионуклидов в составе рациона.

Параметры CR, F_m , F_f перехода ²⁴¹Am, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в молоко, органы и ткани коз получены впервые на территории чернобыльского радиоактивного следа и могут быть применимы, в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ (TRS-472 и TECDOC 1616) для целей прогнозных оценок перехода ТУЭ в молоко, органы и ткани всех жвачных животных (коровы, козы, овцы).

**РЕАКЦИЯ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА *DUSCHEKIA FRUTICOSA*,
ВЫРОСШЕЙ ПРИ РАЗНЫХ МОЩНОСТЯХ ПОВЫШЕННОГО
ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА, НА ДЕЙСТВИЕ
СВЕРХСЛАБОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Шашурин М.М., Журавская А.Н.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия
inwertaza@mail.ru

Проведено исследование по выявлению физиологических и биохимических изменений проростков ольхи кустарниковой (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar), длительное время произрастающей в условиях повышенного естественного радиационного фона (ПЕРФ) и выросших из семян, прошедших предпосевную обработку сверхслабым постоянным магнитным полем (ПМП) с индукцией 120 мкТл. Мощность эффективной дозы (МЭД) ПЕРФ места произрастания материнских растений варьировала от 50 до 400 мкР/ч. Контроль – семена ольхи кустарниковой, выросшей в условиях 20 мкР/ч. Эксперимент проводили в 2 вариантах: I – сухие семена, собранные с материнских растений, произрастающих в условиях разных МЭД ПЕРФ; II – сухие семена с разных МЭД ПЕРФ, прошедших предпосевную обработку сверхслабым ПМП с индукцией 120 мкТл. В зоне ПМП семена обоих вариантов находились в течение 24 ч. Физиологическим критерием оценки воздействия сверхслабого ПМП было образование настоящего листа у проростков (выживаемость) на 21-е сутки наблюдения. В качестве прооксидантной реакции регистрировали интенсивность процессов перекисного окисления липидов. Суммарное содержание низкомолекулярных антиоксидантов определяли в качестве не ферментативной антиоксидантной системы, а ферментативной – супероксиддисмутазы. Оценивали результаты влияния сверхслабого ПМП с использованием метода коэффициентов. Обсуждение результатов проводили исходя из рабочей гипотезы, что выживаемость семенного потомства зависит от эволюционно сформированного прооксидантно-антиоксидантного стационарного состояния в клетках родительских организмов, адаптированных к разным МЭД ПЕРФ и более устойчиво к дополнительному физическому воздействию. Установлено, что длительное произрастание материнских растений ольхи кустарниковой в условиях разных МЭД ПЕРФ приводит к сохранению (или повышению) выживаемости дочернего поколения и дает более устойчивое семенное потомство к действию сверхмалого ПМП. Выделен диапазон МЭД ПЕРФ (от 50 до 150 мкР/ч), где зафиксирован статистически достоверный стимулирующий эффект по изученным показателям проростков, относительно контроля.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО ИЗ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

Шималина Н.С., Антонова Е.В., Позолотина В.Н.

ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
nadia_malina@mail.ru

Процесс прорастания семян очень изменчив в течение года. Проблема биоритмов (биологических часов) связана с физиологическими и генетическими процессами в клетках растений. Все эти процессы могут быть изменены хроническим воздействием малых доз радиации. Цель работы – анализ влияния хронического низкодозового облучения материнских растений подорожника большого (*Plantago major* L.) на внутригодовую изменчивость жизнеспособности его семенного потомства, сформировавшегося в условиях радиоактивного загрязнения (Восточно-Уральский радиоактивный след – ВУРС) и на фоновых территориях. Современные дозовые нагрузки на материнские растения *P. major* на исследованных участках ВУРСа относятся к диапазону малых доз и составляют 16,7-135,2 мкГр/ч при среднем региональном фоновом уровне 0,104 мкГр/ч.

Проведено 12 ежемесячных экспериментов по проращиванию семян методом рулонной культуры. Использовали по 4 выборки из зоны ВУРСа и с фоновых участков. Учитывали комплекс критериев: выживаемость проростков, доля выживших проростков с настоящим листом (листообразование), длина корней, доля проростков с боковыми корнями.

Фактор «месяц проращивания» оказывал значимое влияние на все показатели жизнеспособности во всех выборках, как ВУРСа, так и фоновых. Наибольшая внутригодовая изменчивость отмечена для показателя «выживаемость проростков»: минимальные средние значения были зарегистрированы в феврале во всех фоновых выборках (1,6-9,6 %) и в большинстве выборок ВУРСа (6,4-14,4 %). Максимальные показатели отмечены в сентябре в зоне ВУРСа (88,4–96,0 %), в сентябре и июле в фоновых популяциях (73,0-89,2 %). Листообразование было высоким во все месяцы года, с минимумом в июне в фоновых выборках (56,9-88,2 %), в вариантах ВУРСа – в июне и октябре (49,5-77,8 %). Максимальные значения в фоновых выборках были с января по апрель и в ноябре (100 %), а в зоне ВУРСа – в марте, апреле и декабре (96,7-100 %). Длина корней в фоновых вариантах была минимальной в мае-июне (34,1-49,4 мм), максимальной – в октябре-ноябре (62,0-71,0 мм), в зоне ВУРСа минимум по этому показателю был в мае (32,0-45,3 мм), максимум – в октябре-декабре (69,3-78,2 мм). Доля проростков с боковыми корнями была максимальной в феврале-марте (100 %) и минимальной в июне в большинстве фоновых выборок (63,2-66,5 %), в разных выборках ВУРСа максимальные (95,6-98,1 %) и минимальные (45,0-66,5 %) значения отмечены в разные месяцы.

В объединенных выборках ВУРСа выживаемость была выше, чем в фоновых, в феврале, апреле, мае, а также с августа по октябрь (U-тест, $p = 0,001-0,023$). В остальные месяцы значимых различий между зонами не наблюдалось. Доля проростков с настоящими листьями в разных зонах не различалась в большинстве месяцев, снижение показателя в выборке ВУРСа отмечено только в сентябре и октябре ($p = 0,001-0,008$). Длина корней в большинстве месяцев у проростков из разных зон не отличалась, снижение показателя в объединенной выборке ВУРСа относительно фоновых значений отмечено в мае и сентябре ($p = 0,011-0,004$), повышение – в январе, феврале, ноябре ($p = 0,001-0,025$). Доля проростков с боковыми корнями в зоне ВУРСа была снижена в феврале, марте, мае, с июля по сентябрь ($p = 0,001-0,008$).

Таким образом, у подорожника большого обнаружена ярко выраженная внутригодовая изменчивость жизнеспособности семенного потомства. Выборки ВУРСа в некоторые месяцы года отличались от фоновых по изученным показателям, отмечена асинхронность проявления эффектов относительно фоновых вариантов. В зоне ВУРСа была повышена внутригодовая изменчивость доли проростков с боковыми корнями и настоящими листьями, по выживаемости и длине корней изменчивость была близка к фоновому уровню.

Работа была поддержана Российским научным фондом (грант № 21-74-00038).

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИВЕТСТВИЯ УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ.....5

РАЗДЕЛ 1. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

Булавская А.А., Бушмина Е.А., Григорьева А.А., Милойчикова И.А., Стучебров С.Г.
РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ
МЕДИЦИНСКИХ ПУЧКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....10

Александрова О.П., Клепов А.Н.
ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ
РЕГИОНАРНЫХ МЕТАСТАЗОВ С РАДИОФАРМПРЕПАРАТОМ ¹⁷⁷Lu-DOTA-PSMA.....11

Банникова М.В., Азизова Т.В.
РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ОСНОВНЫМИ ГИСТОЛОГИЧЕСКИМИ
ТИПАМИ НЕМЕЛАНОМНОГО РАКА КОЖИ.....12

**Назаренко И.В., Веялкина Н.Н., Дворник Ю.В.,
Белая Л.А., Медведева Е.А., Аксененко О.С.**
ОБЛУЧЕНИЕ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ ПОЛОСТИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ И КЛИНИКЕ.....13

Вагин К.Н., Рахматуллина Г.И., Ишмухаметов К.Т., Гайнутдинов Т.Р., Галлямова М.Ю.
ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО РАДИОЗАЩИТНОГО ПРЕПАРАТА
НА ОСНОВЕ ВЕЩЕСТВ МИКРОБНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
НА НЕСПЕЦИФИЧЕСКУЮ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ ОРГАНИЗМА.....14

Васильев Р.О., Бревнова С.А., Югатова Н.Ю.
МИКРОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ
У МЫШЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДАФС-25К И «МОНКЛАВИТ-1»
НА ФОНЕ ОСТРОГО РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ.....15

**Выпова Е.Р., Купцова П.С., Комарова Л.Н., Берсенева А.А.,
Балдов Д.А., Лапенко А.К., Скачилова С.Я.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДЛУЧЕВОГО
ИНКУБИРОВАНИЯ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА В РАСТВОРЕ ПРЕПАРАТА «ДЕМАНОЛ».....16

Гайнутдинов Т.Р.
ОЦЕНКА БЕЗВРЕДНОСТИ И ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ
АКТИВНОСТИ ЛЕЧЕБНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ *ESCHERICHIA COLI*.....17

**Гайнутдинов Т.Р., Вагин К.Н., Курбангалеев Я.М.,
Плотникова Э.М., Идрисов А.М., Шарифуллина Д.Т.**
РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОГО
СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ *ESCHERICHIA COLI*.....18

Горбунова О.Г.
ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕЗАРЯДКИ
ГАММА-ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «THERATRON».....19

**Дешевой Ю.Б., Насонова Т.А., Добрынина О.А.,
Лебедев В.Г., Астрелина Т.А., Самойлов А.С.**
ЛЕКАРСТВЕННАЯ ТЕРАПИЯ ТЯЖЕЛЫХ
МЕСТНЫХ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ.....20

Жигалина А.А., Стрелова О.Ю., Гребенюк А.Н.
ГЕНИСТЕИН – ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ АКТИВНАЯ
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ СУБСТАНЦИЯ И ЛЕКАРСТВЕННОЕ СРЕДСТВО.....21

Жураковская Г.П., Купцова П.С. ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРА МЕТРОНИДАЗОЛА В КОМБИНАЦИИ С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ СВЕТОМ.....	22
Зукау В.В., Ушаков И.А., Стасюк Е.С., Нестеров Е.А., Доняева Е.С. РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ НАРАБАТЫВАЕМОЙ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЛЮТЕЦИЯ-177 БЕЗ НОСИТЕЛЯ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т.....	23
Каныгин В.В., Кичигин А.И., Завьялов Е.Л., Соловьева О.И., Разумов И.А., Гусельникова Т.Я., Цыганкова А.Р., Заборонок А.А., Бутикова Е.А., Каныгин Н.В., Лукичев Д.А., Прохорова Е.С., Наймушин А.Г., Аникин М.Н., Сычева Т.В., Таскаев С.Ю. НЕЙТРОНОЗАХВАТНАЯ ТЕРАПИЯ В НОВОСИБИРСКЕ И ТОМСКЕ.....	24
Капитонов А.Б., Неволин Н.Р., Сохорева В.В., Пластун С.А., Большаков А.М., Черепнев М.С., Кузнецов М.С., Семенов А.С., Малютин В.М., Зукау В.В., Кабанов Д.В., Ворошилов Ф.А., Маренкова Е.А., Безденежных И.В. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ РАДИЯ-226 И ЕГО ОБЛУЧЕНИЕ НЕЙТРОННЫМ ПОЛЕМ В РЕАКТОРЕ ТИПА ИРТ-Т С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИЯ-223.....	25
Квачева Ю.Е., Андросова А.А., Шинкарев С.М. РАДИАЦИОННАЯ МЕТАБОЛОМИКА: АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	25
Удалов Ю.Д., Маякова Е.В., Сычев П.В., Козыльков А.В., Мальцева Т.Ю., Кайдаш Ю.А. ВНЕДРЕНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ХЛОРИДА РАДИЯ-223 В КЛИНИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ ЦЕНТРА ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ФГБУ ФНКЦРИО ФМБА РОССИИ.....	26
Мельникова А.А., Комарова Л.Н. СРАВНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ИОНОВ ¹² C И ⁶⁰ Co В СОЧЕТАНИИ С АНТИБИОТИКОМ АНТРАЦИКЛИНОВОГО РЯДА <i>IN VITRO</i>	27
Милойчикова И.А., Булавская А.А., Бушмина Е.А., Григорьева А.А., Сорокина А.А., Стучебров С.Г. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ИЗДЕЛИЯМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ.....	28
Мосеева М.Б., Азизова Т.В., Банникова М.В. ОПУХОЛИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ.....	29
Муфтеева А.Р., Комарова Л.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ХИМИОПРЕПАРАТОВ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА.....	30
Осипов М.В., Сокольников М.Э. ОЦЕНКА РИСКА КАНЦЕРОГЕННЫХ ЭФФЕКТОВ В КОГОРТЕ ЛИЦ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ.....	31
Павлов А.Н., Васильева Н.А., Полякова И.В., Снегирев А.С., Чиж Т.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ПРЕПАРАТА С ГЕМОСТАТИЧЕСКИМ ДЕЙСТВИЕМ.....	32

Раскоша О.В., Башлыкова Л.А., Ермакова А.В., Старобор Н.Н., Боднарь И.С., Карманов А.П., Кочева Л.С. ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СВОЙСТВ ЛИГНИНА.....	33
Румянцева А.В., Азизова Т.В., Банникова М.В. ПОКАЗАТЕЛИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ ТЕЛА МАТКИ У ЖЕНЩИН, ПОДВЕРГШИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ.....	34
Рыбкина В.Л., Ослина Д.С., Азизова Т.В., Адамова Г.В. ИНТЕРЛЕЙКИН-35 И ФАКТОР РОСТА СОСУДИСТОГО ЭНДОТЕЛИЯ У ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ СО ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ.....	35
Стучебров С.Г., Булавская А.А., Бушмина Е.А., Григорьева А.А., Зубкова Ю.А., Милойчикова И.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОЗДАНИЯ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ФАНТОМОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ.....	36
Сычев П.В., Удалов Ю.Д., Маякова Е.В., Мальцева Т.Ю., Кайдаш Ю.А., Тихомиров Н.Е., Шарапова Т.В. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ КЛИНИЧЕСКОЙ ПЕРЕНОСИМОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РАДИЯ-223 ХЛОРИДА.....	37
Тахауова Л.Р., Кривошеина О.И., Попов И.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТЕОМНОГО КАРТИРОВАНИЯ СЛЕЗНОЙ ЖИДКОСТИ У ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	38
Трошина М.В., Корякина Е.В., Потетня В.И., Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Корякин С.Н. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ КЛЕТОК В14-150 ИОНАМИ УГЛЕРОДА И ПРОТОНАМИ.....	39
Удалов Ю.Д., Маякова Е.В., Данилова Л.А. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ И ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ ФГБУ ФНКЦРИО ФМБА РОССИИ.....	40
Ушаков И.А., Зукау В.В., Доняева Е.С., Нестеров Е.А. ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА ТЕРБИЙ-161 БЕЗ НОСИТЕЛЯ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т.....	41
Филимонова М.В., Рыбачук В.А., Косаченко А.О., Николаев К.А., Макаrchук В.М., Шевченко Л.И., Шитова А.А., Солдатова О.В., Филимонов А.С. ПОТЕНЦИАЛ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРОВ NOS В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ РАДИАЦИОННОЙ И ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ.....	42
РАЗДЕЛ 2. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	
Amoah P.A., Kuznetsov M.S., Kotliarevskaya A.S. ASSESSMENT OF THE COUNT RATE OF ALPHA PARTICLES THROUGH A CIRCULAR MESH-HOLE COLLIMATOR COMPARED TO THAT OF HEXAGONAL MESH-HOLE COLLIMATOR.....	43
Godwin Ini ASSESSMENT OF CONCENTRATION ACTIVITY OF THE NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIALS (NORM) IN THE UTAN ARTISANAL TIN MINING SITES OF JOS NORTH, NIGERIA.....	43
Kereibayeva A.N., Imasheva B.S. THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE CITY OF PAVLODAR AND IMPACT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES ON THE ENVIRONMENT.....	44

Амосова Н.В., Бабина К.В. ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ <i>HORDEUM VULGARE L.</i> – КАК РЕАКЦИЯ НА ДЕЙСТВИЕ МУТАГЕНОВ.....	45
Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Вахрушев В.И., Трофимова Е.А., Дементьева А.С. ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ЭКОСИСТЕМЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ: МОНИТОРИНГ И ЭКОТОКСИЧНОСТЬ.....	46
Васильев Д.В. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАЗНЫМИ УРОВНЯМИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	47
Дементьева А.С., Трофимова Е.А., Дементьев Д.В., Зуева А.В., Болсуновский А.Я. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕСТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЙМЫ РЕКИ ЕНИСЕЙ.....	48
Киселев С.М., Шлыгин В.В., Зозуль Ю.Н., Ахромеев С.В., Шашкова О.В., Болотник Н.Ф., Соловьева Д.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ.....	48
Киселев С.М., Шандала Н.К., Лягинская А.М., Сычева Л.П., Зозуль Ю.Н. СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ.....	49
Кречетников В.В., Титов И.Е., Кречетникова Е.О., Нуштаев С.Н., Соломатин В.М. АКТУАЛИЗАЦИЯ «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ 30-КМ ЗОНЫ ОДЭК ИНФОРМАЦИЕЙ О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА НАСЕЛЕНИЕ ПРИ ПРОЕКТНЫХ И ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЯХ.....	50
Кречетникова Е.О., Титов И.Е., Кречетников В.В., Иванкин Н.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ.....	51
Липатов Д.Н., Вараченков В.А., Манахов Д.В., Щеглов А.И. ВАРЬИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЦЕЗИЕМ-137 ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЭЛЕКТРОСТАЛЬ.....	52
Мойса С.С. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ВОДЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	53
Мусаева Э.М., Кашкинбаев Е.Т., Куанышкалиева А.К., Имашева Б.С., Бижанова Д.С. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ ЗА САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНОЙ УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СЕВЕРНЫЙ КАРАМУРЫН».....	54
Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., Дударева Н.В., Никитин А.Н. ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ²⁴¹ Am И ¹³⁷ Cs НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ БЕЛАРУСИ.....	55
Обеснюк В.Ф. ЛИНЕЙНО-БЕСПороГОВАЯ ГИПОТЕЗА ПРИВОДИТ К НЕЛИНЕЙНОСТИ ОТКЛИКА ДЕСКРИПТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА.....	56

Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Кузьменкова Н.В., Турыкин Л.А. ОЦЕНКА СРЕДНЕГОДОВОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ КАРТОФЕЛЯ И ЛУКА, ВЫРАЩЕННЫХ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОСТ-ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	57
Прманова А.Г., Бахтин М.М., Алтаева Н.З. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ ВБЛИЗИ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.....	58
Рахматуллина Г.И., Ишмухаметов К.Т., Вагин К.Н., Юнусов И.Р., Галлямова М.Ю. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ОБЪЕКТОВ ВЕТЕРИНАРНОГО НАДЗОРА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	59
Серегин В.А., Шандала Н.К., Гущина Ю.В., Бельских Ю.С., Филонова А.А., Старинский В.Г., Шитова А.А. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ СТРАН ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В ПЕРИОД РЕКУЛЬТИВАЦИИ.....	60
Соломатин В.М., Иванов В.К., Спирин Е.В. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ 30-КМ ЗОНЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОДЭК.....	61
Соломатин В.М., Иванов В.К., Спирин Е.В., Авраменко С.С. КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОГНОЗНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАСЕЛЕНИЕ ЗА СЧЕТ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ СЦЕНАРИЕВ РЕЖИМОВ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ОДЭК.....	62
Тайлашева К.А. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ОТ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ КРУПНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	63
Татаринцева М.А., Рогова Н.С., Рыжакова Н.К. ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ БИОМОНИТОРИНГА.....	64
Титов И.Е, Кречетников В.В., Шубина О.А., Кречетникова Е.О. ПРОЕКТ ГИС СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ОБОРОТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.....	65
Шандала Н.К., Лягинская А.М., Охрименко С.Е., Титов А.В., Исаев Д.В., Старинский В.Г., Семенова М.П., Метляев Е.Г., Дороньева Т.А., Шитова А.А. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ – ТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ.....	66
РАЗДЕЛ 3. МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	
Awuah C., Khoury N., Kyereh K.R. EFFECTS OF IONIZING RADIATION ON BLOOD PARAMETERS OF MEDICAL RADIATION PERSONNELS: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS.....	67
Аксененко О.С., Пилотович А.С., Сусленкова А.Е., Щурова Е.А, Веялкина Н.Н. ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ КЛЕТОК ЛЕГКОГО МЫШЕЙ ЛИНИИ С57BL/6.....	67

Бондарева Л.Г. СРАВНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ТРИТИЯ В ВИДЕ СВОБОДНОЙ ТРИТИЕВОЙ ВОДЫ И ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ γ -ИЗЛУЧЕНИЕМ.....	68
Буртовая Е.Ю. СОСТОЯНИЕ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ЖИТЕЛЕЙ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ ОТСЕЛЕНИЯ.....	69
Васильев С.А., Толмачева Е.Н., Саженова Е.А., Суханова Н.Н., Яковлева Ю.С., Торхова Н.Б., Лебедев И.Н. ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЙ ФОН КАК ФАКТОР ХРОМОСОМНОГО МУТАГЕНЕЗА В КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	70
Васильева Н.А., Полякова И.В., Фролова Н.А., Губина О.В. ДЕЙСТВИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЛИНЕЙНЫЙ РАЗМЕР КОЛОНИЙ ФИТОПАТОГЕНА <i>Phytophthora spp.</i>	71
Денисова Е.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э. ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В ЗАТО Г. ОЗЕРСК.....	72
Думанский С.М., Васильев Е.В., Калинина М.В., Бирюков А.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	73
Кабирова Н.Р., Окатенко П.В., Сокольников М.Э. ПОСЛЕДСТВИЯ ОТЦОВСКОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ: ПОКАЗАТЕЛИ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СРЕДИ ПОТОМКОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	74
Калиниченко С.А. ТЕОРИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	75
Коваль А.Н., Никитина И.А., Скрыпникова Л.П., Веялкина Н.Н., Шафорост А.С. АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ В ОЦЕНКЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ МЫШЕЙ ПОСЛЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ <i>IN VIVO</i>	76
Колганова О.И., Белкина С.В., Панфилова В.В., Чибисова О.Ф., Чибисова А.С., Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Корякин С.Н. ВЛИЯНИЕ НА ОРИЕНТИРОВОЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ РЕАКЦИЮ КРЫС ОДНОКРАТНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВЫ ПРОТОНАМИ ИЛИ ЭЛЕКТРОНАМИ.....	77
Корякина Е.В., Трошина М.В., Потетня В.И., Байкузина Р.М., Лычагин А.А., Соловьев А.Н., Сабуров В.О., Корякин С.Н. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КЛЕТКАХ КИТАЙСКОГО ХОМЯЧКА ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОГО И СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА.....	78
Ломоносова Е.Е., Нугис В.Ю., Астрелина Т.А., Козлова М.Г., Никитина В.А., Галстян И.А., Снигирева Г.П. ТРЕХЦВЕТНЫЙ FISH-МЕТОД: ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КУЛЬТУР ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ СПУСТЯ 25-35 ЛЕТ ПОСЛЕ АВАРИЙНОГО ОБЛУЧЕНИЯ.....	79

Лукьянова С.Н., Фомина Т.В., Веселовский И.А. К ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСА О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА НАЛИЧИЯ МЕТАЛЛА НА БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ В УСЛОВИЯХ ПРОЦЕДУРЫ ОБЛУЧЕНИЯ СВЧ ЭМП.....	80
Метляева Н.А., Бушманов А.Ю., Галстян И.А., Щербатых О.В., Кончаловский М.В., Торубаров Ф.С., Кореньков В.В., Юнанов Д.С. ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ПНЕВМОСКЛЕРОЗА КАК СЛЕДСТВИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛУТОНИЯ С ОЦЕНКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НУКЛИДА В МОЧЕ, КАЛЕ И ПО ДАННЫМ БИОФИЗИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУПА.....	81
Ослина Д.С., Рыбкина В.Л., Адамова Г.В., Азизова Т.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОКИНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В ПАТОГЕНЕЗ АТЕРОСКЛЕРОЗА, У РАБОТНИКОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ХРОНИЧЕСКОМУ ОБЛУЧЕНИЮ.....	81
Панфилова В.В., Колганова О.И., Белкина С.В., Чибисова О.Ф., Бурак М.Ю., Сабуров В.О., Соловьев А.Н., Корякин С.Н. УСЛОВНО-РЕФЛЕКТОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КРЫС ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОГО ТРАНСКРАНИАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРОТОНАМИ.....	82
Белкина С.В., Пузикова С.В., Переклад О.В., Пронкевич М.Д. СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ И ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА БЫСТРО ПРОЛИФЕРИРУЮЩИЕ КЛЕТКИ.....	83
Савина Н.Б., Ускалова Д.В., Петросова Д.Т., Кузьмичева О.В., Жалнина А.А., Сарапульцева Е.И. <i>DAPHNIA MAGNA</i> КАК МОДЕЛЬНЫЙ ОРГАНИЗМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТРАНСГЕНЕРАЦИОННЫХ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ.....	84
Сайфулина Е.А., Казымбет П.К., Бахтин М.М., Тажибаева Д.С. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ ПЫЛИ УРАНОВОЙ РУДЫ.....	85
Синельщикова О.А., Рыбкина В.Л., Ослина Д.С., Азизова Т.В. НЕКОТОРЫЕ СУБПОПУЛЯЦИИ ЛИМФОЦИТОВ И ИХ СУБКЛЕТОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ У ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВНУТРИУТРОБНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ.....	86
Сокольников С.С., Поволоцкая С.В., Рабинович Е.И. ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ОЖИРЕНИЯ СРЕДИ РАБОТНИКОВ ЯДЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	87
Пронин М.А., Богомолов А.В., Солдатов С.К., Ушаков И.Б. «СТАНДАРТНЫЙ/УСЛОВНЫЙ ЛИКВИДАТОР» К ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ ИТОГАМ И ПЕРСПЕКТИВАМ РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	88
Солдатов С.К., Пронин М.А., Филатов В.Н., Мусаева Р.Н., Смирнова П.А. СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЛЕТНОГО СОСТАВА ПОСЛЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕСТНОСТИ.....	89
Соснина С.Ф., Окатенко П.В., Сокольников М.Э. ЭНДОКРИННЫЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА У ПОТОМКОВ РАБОТНИКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «МАЯК».....	90
Старобор Н.Н., Раскоша О.В. ХРОНИЧЕСКОЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ ВЫЗЫВАЕТ ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОВИТОСТИ МЫШЕЙ.....	91

Сычугов Г.В., Азизова Т.В., Осовец С.В., Казачков Е.Л., Ревина В.С., Григорьева Е.С. ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛАГЕНА В ОЧАГАХ ЛЕГОЧНОГО ФИБРОЗА У РАБОТНИКОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕМ.....	92
Тахауов А.Р., Калинин Д.Е. ОЦЕНКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ, СМЕРТНОСТИ И ЛЕТАЛЬНОСТИ ПРИ ИНФАРКТЕ МИОКАРДА В КОГОРТЕ ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	93
Ушаков И.Б., Корденко А.Н. ОСОБЕННОСТИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ЖИВОТНЫХ С РАЗЛИЧИЯМИ В РЕАКЦИИ ТУЧНЫХ КЛЕТОК НА ГИПОКСИЮ.....	94
Ушаков И.Б., Федоров В.П. ОЦЕНОЧНЫЕ КРИТЕРИИ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ДОЗАХ.....	95
Федоров В.П., Гундарова О.П., Кварацхелия А.Г., Маслов Н.В. ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОГРАНИЧНЫХ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ МАЛЫХ ДОЗАХ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	96
Царева Ю.В., Окатенко П.В., Ткачева И.И. СТРУКТУРА СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ Г. ОЗЕРСКА ЗА ПЕРИОД 1948-2013 ГГ.....	97
Югатова Н.Ю., Васильев Р.О., Назарова М.Д. КЛИНИЧЕСКИЙ СТАТУС И ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У КУР НА ФОНЕ ОСТРОГО РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ.....	98
Юшкова Е.А. ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ АКТИВНОСТИ / РЕТРОТРАНСПОЗОНОВ НА РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЖЕНСКОГО ПОТОМСТВА <i>DROSOPHILA MELANOGASTER</i>	99
РАЗДЕЛ 4. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ	
Вишневская Т.В., Цыпленкова М.Ю., Исубакова Д.С., Цымбал О.С., Мильто И.В., Тахауов Р.М. ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ОТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ.....	100
Атаманюк Н.И., Пряхин Е.А. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГСК ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА МОДЕЛИ КСЕНОТРАНСПЛАНТАЦИИ ИММУНОДЕФИЦИТНЫМ МЫШАМ.....	101
Колтовая Н.А., Жучкина Н.И., Кокорева А.Н., Жукова Е.А., Христова Р., Господинов А. АНАЛИЗ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ ДРОЖЖЕЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УСКОРЕННЫМИ ПРОТОНАМИ.....	102
Иванов К.Ю., Никанорова Е.А., Паточка Г.Л., Нагиба В.И., Варганова И.А, Медведев Я.И. РОЛЬ ИСХОДНОГО КОНФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ И РЕАКТИВНОСТИ ХРОМАТИНА В РЕАЛИЗАЦИИ КЛЕТОЧНОЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ.....	103
Исубакова Д.С., Цымбал О.С., Усова Т.В., Цыпленкова М.Ю., Литвяков Н.В., Мильто И.В., Тахауов Р.М. ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗИ ОДНОНУКЛЕОТИДНЫХ ПОЛИМОРФИЗМОВ ГЕНОВ КЛЕТОЧНОГО ЦИКЛА С ЧАСТОТОЙ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ПРИ ДОЛГОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	104

Расова Е.Е., Тавлеева М.М., Белых Е.С., Рыбак А.В., Черных А.А., Исмаилов З.Б., Велегжанинов И.О. ПОВЫШЕНИЕ РАДИОУСТОЙЧИВОСТИ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ОДНОВРЕМЕННОЙ СВЕРХЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ <i>GPX3</i> И <i>SOD3</i>	105
Розанова О.М., Смирнова Е.Н., Белякова Т.А., Стрельникова Н.С., Косякова Н.И. ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И РАДИАЦИОННОГО АДАПТИВНОГО ОТВЕТА В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С СИНДРОМОМ ВТОРИЧНОГО ИММУННОГО ДЕФИЦИТА.....	106
Савченко Р.Р., Васильев С.А., Фишман В.С., Мурашкина А.А., Грибова О.В., Старцева Ж.А., Сухих Е.С., Вертинский А.В., Сухих Л.Г., Лебедев И.Н. РОЛЬ ГЕНОВ <i>ADAMTS1</i> И <i>THBS1</i> В ФОРМИРОВАНИИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО КЛЕТОЧНОГО ОТВЕТА.....	107
Цымбал О.С., Исубакова Д.С., Брониковская Е.В., Николаева А.Ф., Сигин В.О., Калинин А.И., Литвяков Н.В., Мильто И.В., Тахауов Р.М. СВЯЗЬ СТЕПЕНИ МЕТИЛИРОВАНИЯ ГЕНОВ И ЧАСТОТЫ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ ЛИМФОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ КРОВИ <i>IN VITRO</i>	108
Цыпленкова М.Ю., Вишневская Т.В., Исубакова Д.С., Цымбал О.С., Мильто И.В., Тахауов Р.М. СТРУКТУРА СУБКОЛЛЕКЦИИ ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ БАНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА СЕВЕРСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА.....	109
РАЗДЕЛ 5. ПРОБЛЕМЫ ДОЗИМЕТРИИ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ	
Арефьева Д.В., Фирсанов В.Б., Тарита В.А. СПОСОБ ГРАДУИРОВКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ¹²⁵ I В ЦИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЕ.....	110
Астапова А.А., Квачева Ю.Е., Поцяпун Н.П., Максимова Е.Ю., Молоканов А.А. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ В ДОЗИМЕТРИИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ КОСВЕННЫМИ МЕТОДАМИ.....	111
Аумаликова М.Н., Бакытжан Г., Бахтин М.М., Казымбет П.К. ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ СТЕПНОГОРСКОГО ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА.....	112
Басова М.А., Козьмин Г.В., Снегирев А.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАБОЛИЗМА РАДИОАКТИВНОГО ЙОДА В ОРГАНИЗМЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА С УЧЕТОМ СОДЕРЖАНИЯ СТАБИЛЬНОГО ЙОДА В РАЦИОНЕ.....	113
Брагин Ю.Н., Крючков В.П., Сивенков А.Г., Цовьянов А.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ РАБОТНИКОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ.....	114
Буздалкин К.Н., Нилова Е.К. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ЧАСТИ ДОЗИМЕТРИИ АЛЬФА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ.....	115
Введенский В.Э. ВЕРИФИКАЦИЯ И УТОЧНЕНИЕ СКОРОСТИ ОБМЕНА ЦЕЗИЯ МЕЖДУ ПЛАЗМОЙ КРОВИ И ЭРИТРОЦИТАМИ ДЛЯ БИОКИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦЕЗИЯ ИЗ ПУБЛИКАЦИИ МКРЗ № 137.....	116

Веялкин И.В., Дрозд Е.А., Никонович С.Н. ОЦЕНКА В ДИНАМИКЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛИЦ, ВКЛЮЧЕННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИСТР.....	117
Ганцовский П.П., Комаров А.Ю., Цовьянов А.Г., Мазурин Н.К. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ ПОПРАВОЧНЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ НА АЛЬБЕДНЫЕ ДОЗИМЕТРЫ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ С ЛОКАЛЬНЫМИ ИЗОТОПНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	118
Ганцовский П.П., Цовьянов А.Г., Комаров А.Ю., Карев А.Е., Гуревич А.В., Балакин М.Д. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОВОГО ТОПЛИВА.....	118
Губин А.Т. К РАСЧЕТУ ФАКТОРА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ДЛЯ СОЛИДНЫХ РАКОВ.....	119
Старков А.В., Давыдова Е.В., Гребенюк А.Н., Старовойт А.В., Гедерим В.В. ОПЫТ ПОДГОТОВКИ ВРАЧЕЙ ПО ВОПРОСАМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ДОЗИМЕТРИИ В ПЕРВОМ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ И.П. ПАВЛОВА.....	120
Ефимов А.В., Соколова А.Б., Джунушалиев А.Б. АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ПОСТУПЛЕНИЕМ ПЛУТОНИЯ, ТРЕБОВАНИЯМ МЕЖДУНАРОДНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ.....	121
Карев А.Е., Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Ганцовский П.П., Комаров А.Ю., Гуревич А.В. ОБЩИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	122
Карл Л.Э., Маренный А.М., Герцен Г.П., Лашенова Т.Н., Губанова Ю.К., Кайгородов Е.И. ПРИБОРНОЕ ОСНАЩЕНИЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА РАДОНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	123
Бахтин М.М., Кашкинбаев Е.Т., Ибраева Д.С., Иса Ж.К., Кушербаев Н., Hoshi M., Omori Y., Казымбет П.К. ПРОБЛЕМА РАДОНОБЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВЕЛИЗИ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.....	124
Комаров А.Ю. СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ.....	125
Крючков В.П., Брагин Ю.Н., Журавлева В.Е., Сивенков А.Г., Теснов И.К. РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ФРЕДГОЛЬМА ПЕРВОГО РОДА ДЛЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПАРЫ ПЕРЕМЕННЫХ: ППА/МАЭД.....	126
Никонович С.Н., Веялкин И.В., Дрозд Е.А. ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В 1986 Г. У ЛИЦ, ВКЛЮЧЕННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИСТР.....	127

Осовец С.В., Азизова Т.В., Рыбкина В.Л., Синельщикова О.А. ОЦЕНКА ДОЗЫ МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ ПРИ АВАРИЙНОМ ИНГАЛЯЦИОННОМ ПОСТУПЛЕНИИ Pu-239.....	128
Пантелькин В.П., Цовьянов А.Г. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ОЦЕНКИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА.....	129
Портман А.И., Потемкин А.М. ПРОБЛЕМЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ НЕФОТОННОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПО СВЕТОВОХОДУ КВАРЦА СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ.....	130
Снигирев Е.В., Александрова О.П., Фадеев М.Н., Клепов А.Н. МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА АЭС И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ИНЦИДЕНТНЫХ ВЫБРОСАХ ¹³¹ I.....	131
Соколова А.Б., Джунушалиев А.Б. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ БИОФИЗИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ХЕЛАТОВ, ПРИ АВАРИЙНОМ ПОСТУПЛЕНИИ ПЛУТОНИЯ.....	132
Сыпко С.А., Бобов Г.Н., Введенский В.Э., Назаренкова А.В. МИКРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ Pu-239 В ЛЕГКИХ РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК».....	133
Толстых Е.И., Возилова А.В., Аклеев А.В. МОДЕЛЬ ОБЛУЧЕНИЯ Т-ЛИМФОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ БИОДОЗИМЕТРИИ.....	134
Хазипова А.А., Кашкинбаев Е.Т., Кушербаев Н., Иса Ж.К. РАСЧЕТ ВНУТРЕННЕЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ ПОСЕЛКА АКСУ ЗА СЧЕТ РАДОНА.....	135
Чижов К.А., Крючков В.П. МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАРТ ПЛОТНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ МОЩНОСТИ АМБИЕНТНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ФРЕДГОЛЬМА 1-ГО РОДА.....	136
РАЗДЕЛ 6. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ	
Абрамов Ю.В., Симаков А.В., Проскуракова Н.Л., Алферова Т.М. УСТАНОВЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ УРОВНЕЙ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ.....	137
Арефьева Д.В., Грабский Ю.В., Сосницкий И.Т., Ярмийчук С.В. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ГОТОВНОСТИ АВАРИЙНЫХ МЕДИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕДИКО-САНИТАРНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ФМБА РОССИИ К АВАРИЙНОМУ РЕАГИРОВАНИЮ ПРИ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЯХ И ИНЦИДЕНТАХ.....	138
Брагин Е.В., Азизова Т.В., Григорьева Е.С. РИСК ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СТАРЧЕСКОЙ КАТАРАКТОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК», ПОДВЕРГШИХСЯ ХРОНИЧЕСКОМУ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ.....	139

Брикс К.В., Банникова М.В., Азизова Т.В. ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	139
Веялкин И.В., Никонович С.Н., Панкова С.В., Захарова О.Н., Овчинникова О.П. РИСК РАЗВИТИЯ РАКА ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У НАСЕЛЕНИЯ, ПОСТРАДАВШЕГО ОТ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС.....	140
Веялкин И.В., Никонович С.Н., Панкова С.В., Захарова О.Н., Овчинникова О.П. ОЦЕНКА РИСКА РАЗВИТИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ КРОВИ И ЛИМФАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ У НАСЕЛЕНИЯ, ПОСТРАДАВШЕГО ОТ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС.....	141
Веялкин И.В., Никонович С.Н., Панкова С.В., Захарова О.Н., Овчинникова О.П. ОЦЕНКА РИСКА РАЗВИТИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ СОЛИДНОЙ ПРИРОДЫ У УЧАСТНИКОВ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС И ЭВАКУИРОВАННОГО НАСЕЛЕНИЯ.....	142
Ганина А.М., Бахтин М.М., Кашкинбаев Е.Т., Казымбет П.К. ПИЛОТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ МИРНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА НА ТЕРРИТОРИЮ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.....	143
Гладких В.Д., Филин К.Н., Баландин Н.В. ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ МЕДИКАМЕНТОЗНЫХ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ И РАННЕЙ ЭКСТРЕННОЙ ТЕРАПИИ РАДИЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	144
Григорьева Е.С., Банникова М.В., Брикс К.В., Азизова Т.В. МОДИФИКАЦИЯ РАДИОГЕННОГО РИСКА СМЕРТНОСТИ ОТ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В КОГОРТЕ РАБОТНИКОВ РАДИАЦИОННО ОПАСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НЕРАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ.....	145
Елекеев Е.М. К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ УМНЫХ ГОРОДОВ.....	146
Жунтова Г.В., Азизова Т.В., Банникова М.В. ФАКТОРЫ РИСКА РАКА ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	147
Иванченко А.В., Башарин В.А., Драчев И.С., Селезнев А.Б. К ПРОБЛЕМЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ОБЛУЧЕНИЯ В СРЕДНИХ ДОЗАХ: АРГУМЕНТЫ «ЗА» И «ПРОТИВ».....	148
Карев А.Е., Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Ганцовский П.П., Комаров А.Ю., Гуревич А.В. РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА.....	149
Корнева Е.А., Журавлева В.Е., Цовьянов А.Г. АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМАТИВНЫХ И РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ.....	150

Корнетов А.Н., Потапова Н.Е. ОРГАНИЗАЦИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ С ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ.....	151
Паринов О.В., Самойлов А.С., Шандала Н.К., Лягинская А.М., Галстян И.А., Метляев Е.Г., Купцов В.В. СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ТИПОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА.....	152
Попченко М.Р., Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Оленина И.В., Тимошенко А.Н., Зиновьев В.П., Исаев О.В., Сеитова А.Г. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИЗВЕСТНЫХ УСТРОЙСТВ И СПОСОБОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОТ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ С МОКС-ТОПЛИВОМ.....	153
Потапова Н.Е., Корнетов А.Н., Измestьев К.М. ПРОАКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	153
Поцяпун Н.П., Квачева Ю.Е., Максимова Е.Ю., Молоканов А.А., Астапова А.А. БИОФИЗИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПЕРСОНАЛА, УЧАСТВУЮЩЕГО В РАБОТАХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ НОВЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА.....	154
Пронин М.А. , Ушаков И.Б., Гавриш Н.Н. ФИЛОСОФИЯ КАК ЭКСПЕРТИЗА: К РАДИАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ЧЕЛОВЕКА КАК ЦЕЛОСТНОСТИ.....	155
Савастеева И.Г., Евдочкова Т.И., Селькина В.Д. ОРГАНИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ НАСЕЛЕНИЮ, ПОСТРАДАВШЕМУ ОТ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.....	156
Самойлов А.С., Шандала Н.К., Шинкарев С.М., Паринов О.В. НОВЫЕ ВИДЫ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.....	157
Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Проскурякова Н.Л., Алферова Т.М. НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ.....	158
Симаков А.В., Абрамов Ю.В. ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ РАБОТАХ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ.....	159
Соловей Э.П., Гонышев С.С., Козлов М.С., Панченко И.С. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВВЕДЕНИЯ В ДЕЙСТВИЕ ТИПОВОЙ ИНСТРУКЦИИ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕНТГЕНОВСКИХ КАБИНЕТАХ ВОЕННО-МЕДИЦИНСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ ЗАПАДНОГО ВОЕННОГО ОКРУГА.....	160
Тельнов В.И. ИТОГИ СТАТИЧНОГО И ПОТЕНЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК» ПРИ ИНКОРПОРАЦИИ ПЛУТОНИЯ.....	161
Туков А.Р., Шафранский И.Л., Прохорова О.Н., Михайленко А.М., Зиятдинов М.Н. ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕБУЕТ КОРРЕКТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	162

Цовьянов А.Г., Шинкарев С.М., Ганцовский П.П., Карев А.Е.
РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА СМЕШАННОГО
НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА.....163

Удалов Ю.Д., Тихомиров Н.Е., Шарапова Т.В., Сычев П.В., Семочкина Г.Н.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
В ФГБУ ФНКЦРИО ФМБА РОССИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕПАРАТА
НА ОСНОВЕ РАДИОНУКЛИДА РАДИЙ-223.....164

Шаяхметова А.А., Арефьева Д.В.
РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА
ПЕРСОНАЛА СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ
РАБОТЫ ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ.....165

Шинкарев С.М., Цовьянов А.Г.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА
ПРИ ОБРАЩЕНИИ С НОВЫМИ ВИДАМИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.....166

РАЗДЕЛ 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Власова Н.Г., Висенберг Ю.В.
РАДИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ДОЗОЗОВЫЙ ПОДХОД.....168

Гераськин С.А.
ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ РАСТЕНИЙ.....169

Городецкий В.Г., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В.
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОАКТИВНОГО ФАКТОРА Н
А ИХТИОФАУНУ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....169

Григоркина Е.Б., Оленев Г.В.
ДАЛЬНИЕ МИГРАЦИИ МОЛОДЫХ СЕГОЛЕТОК КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК
ПЕРЕНОСА БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ИЗ ЗОНЫ ЛОКАЛЬНОГО
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....170

Калиниченко С.А., Никитин А.Н., Шуранкова О.А.
НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs , ^{90}Sr И ^{241}Am БЕРЕЗОВЫМ СОКОМ
В ЭКОСИСТЕМАХ С РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМОМ УВЛАЖНЕНИЯ
БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.....171

Никитин А.Н., Калиниченко С.А., Сухарева Д.В.
ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ЗАМКНУТОГО
ВОДОЕМА НА ТЕРРИТОРИИ ПГРЭЗ НА ЭТАПЕ ОТДАЛЕННЫХ
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.....172

**Никитин А.Н., Тагай С.А., Мищенко Е.В., Леферд Г.А.,
Ласько Т.В., Шуранкова О.А., Сухарева Д.В.**
ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ^{137}Cs В ПОЧВАХ ПОЙМЕННЫХ
БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ СНИЖЕНИИ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ.....173

Никитин А.Н., Шуранкова О.А., Мищенко Е.В., Сухарева Д.В.
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs В ДРЕВЕСИНЕ И КОРЕ
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В НАСАЖДЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЛЕСА
В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.....174

Обеснюк В.Ф. АДВЕКТИВНО-ДИФФУЗИОННАЯ МОДЕЛЬ РАССЕЙЯНИЯ ТРИТИЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ШТАТНОМ ВЫБРОСЕ ОТ СТАЦИОНАРНОГО ИСТОЧНИКА.....	175
Полякова И.В., Васильева Н.А., Губина О.А., Ефимова Е.С., Фролова Н.А., Чиж Т.В. ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНАКТИВАЦИИ <i>LISTERIA MONOCYTOGENES</i> В ЛИСТОВОМ САЛАТЕ.....	176
Савельева К.В., Парамонова Т.А., Кузьменкова Н.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ ОСТРОЙ ФИТОТОКСИЧНОСТИ Cs-137 У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	177
Сайфулина Е.А., Кашкинбаев Е.Т., Иса Ж.К., Шокабаева А.С., Джанабаев Д.Д., Казымбет П.К. СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ УРАНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	178
Сайфулина Е.А., Кашкинбаев Е.Т., Шокабаева А.С., Джанабаев Д.Д., Казымбет П.К. РИСК РАЗВИТИЯ ПАТОЛОГИИ ПОЧЕК У НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	179
Казымбет П.К., Джанабаев Д.Д., Кашкинбаев Е.Т., Сайфулина Е.А., Шокабаева А.С. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И СТРУКТУРА СОМАТИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ У НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	180
Стариченко В.И., Любашевский Н.М. ЭТАПЫ РАДИОАДАПТАЦИИ ГРЫЗУНОВ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА.....	181
Тойчуев Р.М., Жолдошов С.Т., Тойчуева Г.Р. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (ПОТЕПЛЕНИЯ) НА ПАТОГЕННОСТЬ <i>Salmonella typhi</i> , НАХОДЯЩЕГОСЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ.....	182
Тойчуев Р.М., Жолдошов С.Т., Тойчуева Г.Р. ПРОБЛЕМЫ БРУЦЕЛЛЕЗА СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В УРАНОВОЙ ЗОНЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.....	183
Фролова Н.А., Полякова И.В., Губина О.А., Васильева Н.А. МОДЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ <i>LISTERIA MONOCYTOGENES</i> В ПИТАТЕЛЬНОМ СУБСТРАТЕ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ.....	184
Царенок А.А., Тагай С.А., Макаровец И.В., Нилова Е.К., Аверин В.С. ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА АМЕРИЦИЯ И ПЛУТОНИЯ В МОЛОКО, ОРГАНЫ И ТКАНИ ЖИВОТНЫХ ИЗ ПОЧВЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ РАЦИОНА.....	185
Шашурин М.М., Журавская А.Н. РЕАКЦИЯ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА <i>DUSCHEKIA FRUTICOSA</i> , ВЫРОСШЕЙ ПРИ РАЗНЫХ МОЩНОСТЯХ ПОВЫШЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА, НА ДЕЙСТВИЕ СВЕРХСЛАБОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	186
Шималина Н.С., Антонова Е.В., Позолотина В.Н. СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО ИЗ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА.....	187
СОДЕРЖАНИЕ.....	188

Научное издание

МЕДИЦИНСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Материалы VII Международной научно-практической конференции,
посвященной 65-летию образования филиала № 2
Государственного научного центра – института биофизики

21-22 марта 2023 года, г. Томск

Издается в авторской редакции.

Подписано в печать 15.03.2023
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 12,68; усл. печ. л. 11,67; уч.-изд. л. 16,75. Тираж 300 экз.

ООО "Офсет Центр", 634015, г. Томск, ул. Айвазовского, 35

**ПОСЕТИТЕ ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ
СЕВЕРСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА:
[HTTP://SBRC.SEVERSK.RU/](http://sbrc.seversk.ru/)**

