

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО РОССИИ**

**VIII СЪЕЗД
ПО РАДИАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ**

Москва, 12-15 октября 2021 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Дубна, 2021

УДК 621.039.58:504.75:577.1 (063)

B78

VIII Съезд по радиационным исследованиям, Москва, 12-15 окт. 2021 г.: Тез.
B78 докл. – Дубна: ОИЯИ, 2021. – 444с.

ISBN 978-5-95300561-6

В сборнике публикуются тезисы докладов, представленных в Оргкомитет VIII Съезда по радиационным исследованиям (Москва, 2021 г.). На съезде обсуждаются результаты фундаментальных исследований по всем направлениям радиобиологии, радиоэкологии, радиационной безопасности и их практические приложения. Представлены работы в области молекулярной радиобиологии и радиационной генетики, молекулярно-клеточных механизмов действия радиации. Рассматриваются механизмы возникновения и прогноз отдаленных последствий действия радиации, в особенности медико-биологические последствия, вопросы радиационной физиологии, радиационной иммунологии и гематологии. Уделяется внимание таким практически важным проблемам как радиобиологические основы лучевой терапии злокачественных опухолей, поиск и создание противолучевых средств. Рассматриваются результаты в области радиобиологии тяжелых ионов, космической радиобиологии и решения проблем безопасности космических полетов. Обсуждаются вопросы дозиметрии и микродозиметрии ионизирующих излучений, радиационной безопасности и гигиенического нормирования, работы по теоретической радиобиологии, экологические проблемы радиобиологии. Отдельные заседания посвящаются работам по радиобиологии неионизирующих излучений. Уделяется внимание вопросам подготовки научных кадров и организации в России радиобиологического и радиоэкологического образования.

Тезисы докладов публикуются в авторской редакции.

УДК 621.039.58:504.75:577.1 (063)

ISBN 978-5-95300561-6

©Объединенный институт
ядерных исследований, 2021

Организаторы конференции:
Радиобиологическое общество РАН
Научный совет РАН по радиобиологии
Лаборатория радиационной биологии ОИЯИ
ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И.Бурназяна»
ФМБА России

Программный комитет конференции

Сопредседатели:

Газиев Ажуб Ибрагимович, д.б.н., ИТЭБ РАН, президент Радиобиологического общества

Красавин Евгений Александрович, чл.-корр. РАН, ЛРБ ОИЯИ, председатель Научного совета РАН по радиобиологии

Скворцова Вероника Игоревна, чл.-корр. РАН, руководитель Федерального медико-биологического агентства России

Заместители председателя:

Гребенюк Александр Николаевич, д.м.н., ООО «Специальная и Медицинская Техника»

Самойлов Александр Сергеевич, чл.-корр. РАН, ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Ответственный секретарь:

Найдич Валерия Иосифовна, к.х.н., Научный совет РАН по радиобиологии

Члены Программного комитета:

Алексанин Сергей Сергеевич, чл.-корр. РАН, ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России

Баранов Виктор Михайлович, академик РАН, ИКМ ФМБА России

Бугай Александр Николаевич, д.ф.-м.н., ЛРБ ОИЯИ

Григорьев Юрий Григорьевич, д.м.н., ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Жаворонков Леонид Петрович, д.м.н., МРНЦ им. А.Ф. Цыба

Иванов Виктор Константинович, чл.-корр. РАН, МРНЦ им. А.Ф. Цыба –

Национальный радиационно-эпидемиологический регистр

Ильин Леонид Андреевич, академик РАН, ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Легеза Владимир Иванович, д.м.н., ВМедА МО РФ

Мороз Борис Борисович, академик РАН, ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Островский Михаил Аркадьевич, академик РАН, ИБХФ РАН, ЛРБ ОИЯИ

Романович Иван Константинович, академик РАН, СПб НИИ РГ им. П.В.Рамзаева

Роспотребнадзора

Санжарова Наталья Ивановна, чл.-корр. РАН, ВНИИРАЭ

Симбирцев Андрей Семенович, чл.-корр. РАН, ГосНИИ ОЧБ ФМБА России

Ушаков Игорь Борисович, академик РАН, ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Содержание

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО	43
<i>А.И. Газиев</i>	
ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ В РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	45
<i>Е. А.Красавин</i>	
СЕКЦИЯ № 1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ. РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА	49
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЯДЕРНОЙ И МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК, ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, СВЯЗАННЫХ С ФУНКЦИЯМИ МИТОХОНДРИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС, ОБЛУЧЕННЫХ РЕНТГЕНОВСКИМИ ЛУЧАМИ	50
<i>С.А. Абдуллаев, Н.Е. Губина, А.И. Газиев</i>	
ИЗУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТУ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В КЛЕТКАХ КОРНЯ <i>ALLIUM CEPA</i> L.	51
<i>А. Е. Алдибекова, Е. В. Стяжкина, Е.А. Пряхин</i>	
ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТУ ДОМИНАНТНЫХ ЛЕТАЛЬНЫХ МУТАЦИЙ У <i>DROSOPHILA MELANOGASTER</i> В РЯДУ ПОКОЛЕНИЙ	52
<i>В.В.Башикирова, Е.И. Пастухова</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ «ТРАНСПЛАНТАТ ПРОТИВ ХОЗЯИНА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЫШЕЙ, НЕСУЩИХ ГЕН EGFR	53
<i>Е.В. Богданенко, Л.А. Сергеевич, А.В.Карнаухов, Н.А. Карнаухова, И.А. Лизунова</i>	
РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЕТОК СИСТЕМЫ КРОВИ ДВУХ ЛИНИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ	54
<i>Н.Н.Велякина, К.М.Фабушева, Е.В. Цуканова, Ю.В. Дворник, С.П. Новицкая</i>	
ПОСТРАДИАЦИОННАЯ МИТОХОНДРИАЛЬНАЯ ДИСФУНКЦИЯ, ЕЕ РОЛЬ И ПУТИ ЕЕ МОДУЛЯЦИИ	55
<i>А.И. Газиев</i>	
ЧАСТОТА КЛЕТОК С ПОЛИСОМИЕЙ ХРОМОСОМ 7 И 11 В ОБРАЗЦАХ ОПУХОЛИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОСТИ РТА ДО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ ФАКТОР	57
<i>Е.В. Голуб, Г.Ф. Михайлова, Т.Г. Шкаврова, В.В. Цепенко, В.В. Польшкин, Ф.Е. Севрюков, П.А. Исаев</i>	

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТИМУЛИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА <i>HORDEUM VULGARE</i> L.	58
<i>И. В. Горбатова, И. А. Пишенин, М. С. Подлуцкий, Е. А. Казакова</i>	
ГУАНИНОВЫЕ КВАДРУПЛЕКСЫ В МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК: ВОЗМОЖНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА ПРИ ИНКОРПОРАЦИИ ¹³⁷ Cs	59
<i>А.И. Грищук, А.Н. Коваль</i>	
ИНДУКЦИЯ ГЕННЫХ МУТАЦИЙ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ АЗОТА В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ <i>S. CEREVISIAE</i>	60
<i>Н. И. Жучкина, Н. В. Шванева, В. С. Елизарова, Н. А. Колтовая</i>	
ИНДУКЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ХРОМОСОМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПУЧКАМИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ	61
<i>А. Н. Кокорева, Н. И. Жучкина, Н. В. Болонкина, Н. А. Колтовая</i>	
КОРРЕКЦИЯ ПРЕДМУТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ УЧАСТИИ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ДНК-ГЛИКОЗИЛАЗЫ MutY ИЗ <i>E.coli</i> В РАДИАЦИОННОМ МУТАГЕНЕЗЕ ФАГА λ	62
<i>Л. В. Коневега, Е. А. Смирнова</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ АПОПТОЗА ПО АКТИВНОСТИ КЛЮЧЕВЫХ ГЕНОВ-ИНДУКТОРОВ И ГЕНОВ- ИНГИБИТОРОВ ПРИ НИЗКОДОЗОВОМ IN VIVO ВОЗДЕЙСТВИИ АЛЬФА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ	63
<i>И.Б. Корзенева</i>	
ЭКСПРЕССИЯ КЛЮЧЕВЫХ БЕЛКОВ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК, РЕПАРАЦИИ И АПОПТОЗА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ВЛИЯЕТ НА ИММУНИТЕТ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НИЗКОДОЗОВОМ АЛЬФА- И ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ IN VIVO. ИММУНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЧАСЫ	64
<i>И.Б. Корзенева, Т.Т. Радзивил</i>	
СИГНАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ МИНОРНЫХ ФРАКЦИЙ ФОСФОЛИПИДОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КЛЕТОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ У МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ К ДЕЙСТВИЮ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ	65
<i>А.Г. Кудяшева, Л.Н. Шникина</i>	
ОПРЕДЕЛЕННЫЕ МЕТОДОМ «КОМЕТА ТЕСТ» УРОВНИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК ИНТАКТНЫХ И X-ОБЛУЧЕННЫХ КЛЕТОК МЫШЕЙ ПРИ РАЗНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ	66
<i>Е.А. Кузнецова, Н.П. Сирота, Т.А. Зенченко</i>	

ГИПЕРМЕТИЛИРОВАНИЕ ПРОМОТОРОВ ГЕНОВ У ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ДОЗЫ И ВИДА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ <i>Н.С.Кузьмина, Н.Ш. Лаптева, Г.Г. Русинова, Т.В.Азизова, Н.С. Вязовская, А.В.Рубанович</i>	67
ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ – БИОМАРКЕРЫ РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ <i>Г.М. Минкабирова, С.А. Абдуллаев</i>	68
РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ЭМБРИОНАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ИЗ НИХ НЕЙРОНАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК <i>Е.А Насонова, О. Аррицабалага де Минго, И. Шредер, С. Риттер</i>	69
ЧАСТОТЫ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТРАНСЛОКАЦИЙ В КУЛЬТУРАХ ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ ЗДОРОВЫХ ДОНОРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ С ПОМОЩЬЮ ТРЁХЦВЕТНОГО FISH-МЕТОДА (ДВА РАЗНЫХ НАБОРА ДНК-ЗОНДОВ) <i>В.Ю.Нугис, Г.П.Снигирёва, М.Г.Козлова, В.А Никитина, Е.Е.Ломоносова, Е.И. Добровольская</i>	70
ИССЛЕДОВАНИЕ ХРОМОСОМНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ И СТРУКТУРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ <i>hprt</i> -ГЕНА В КЛЕТКАХ КИТАЙСКОГО ХОМЯЧКА ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ. <i>Д.В. Петрова, Н.А. Кошлань, П. Блага, Ю.В. Богданова, Р.Д. Говорун, И.В. Кошлань</i>	71
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОКУСОВ γ H2AX В ФИБРОБЛАСТАХ ЛЕГКОГО ЭМБРИОНА ЧЕЛОВЕКА, ИНКУБИРОВАННЫХ В СРЕДАХ, СОДЕРЖАЩИХ МЕЧЕННЫЕ ТРИТИЕМ ТИМИДИН ИЛИ АМИНОКИСЛОТЫ <i>Роднева С.М., Осипов А.А., Гурьев Д.В., Цишинатти А.А., Федотов Ю.А., Яшкина Е.И., Воробьева Н.Ю., Максимов А.А., Кочетков О.А., Осипов А.Н.</i>	72
ПОВЫШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА МИКРОЯДЕР В КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА ПОСЛЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО γ ,n-ОБЛУЧЕНИЯ МЫШЕЙ В МАЛЫХ И НИЗКИХ ДОЗАХ <i>А.Н. Романцова, А.С. Дегтярёв, А.С. Жирник, О.Д. Смирнова, А.В. Родина, Е.Ю. Москалева</i>	73
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ ОПУХОЛЕЙ, У ОБЛУЧЕННЫХ МЫШЕЙ <i>Д. В. Салеева, В. Ф. Михайлов, Л. М. Рождественский, Л.В.Шуленина, Н. Ф. Раева, А. Ф. Аккуратова, Г. Д. Засухина</i>	74

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ОЛИГОФРАКЦИОНИРОВАННОГО ПРОТОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РОСТ СОЛИДНОЙ КАРЦИНОМЫ ЭРЛИХА И ОТДАЛЕННЫЕ ЛУЧЕВЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ У МЫШЕЙ <i>Е.Н. Смирнова, Т.А. Белякова, В.Е. Балакин, О.М. Розанова, С.И. Заичкина, Н.С. Стрельникова, А.Е. Шемяков, С.С. Сорокина</i>	75
РОЛЬ МЕТИЛИРОВАНИЯ <i>BAK1</i> В ИНДУКЦИИ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ <i>О. С. Цымбал, Д. С. Исубакова, Е. В. Брониовская, Н. В. Литвяков, И. В. Мильто, Л. Р. Тахауова, М. В. Халюзова, Р. М. Тахауов</i>	76
ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ <i>ADAMTS1, RBFOX2, THBS1</i> И <i>WHSC1</i> В КАЧЕСТВЕ БИОМАРКЕРА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ <i>Р. Р. Савченко, С. А. Васильев, В. С. Фишман, Е. С. Сухих, О. В. Грибова, Ж. А. Старцева, А. А. Мурашкина, А. В. Дорофеева, Д. М. Шункова, И. Н. Лебедев</i>	77
РОЛЬ <i>TLR4/NF-κB</i> СИГНАЛЬНОГО ПУТИ В РАДИОЗАЩИТНОМ ДЕЙСТВИИ ЭКЗОГЕННОГО ПЕРОКСИРЕДОКСИНА-6 <i>М. Г. Шаранов, О.В. Глушкова, С.Б. Парфенюк, С.В. Гудков, Е.Г. Новоселова</i>	78
ОДНОКРАТНОЕ ОСТРОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ О НАЛИЧИИ РАДИОАДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЙ У <i>DROSOPHILA MELANOGASTER</i> <i>Е.А. Юшкова</i>	79
СЕКЦИЯ № 2. МОЛЕКУЛЯРНО-КЛЕТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ. МЕХАНИЗМЫ И ПРОГНОЗ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ	81
ОСОБЕННОСТИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В КЛЕТКАХ РАКА ЛЕГКОГО ЧЕЛОВЕКА ЛИНИЙ A549 И H1299, ВЫЖИВШИХ ПОСЛЕ МУЛЬТИФРАКЦИОНИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ <i>Л. Алхаддад, М.В. Пустовалова, Н.М. Сметанина, А.К. Грехова, Т.М. Блохина, Р.Н. Чупров-Неточин, А.Н. Осипов, С.В. Леонов</i>	82
НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЕЖОРГАНИЗМЕННОМ ЭФФЕКТЕ СВИДЕТЕЛЯ У МЫШЕЙ <i>С. С. Андреев, А. Е. Алдибекова, И. Н. Когарко, В. В. Петушкова, А. В. Аклеев</i>	83
ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ХИМЕРЫ ЧЕЛОВЕК-МЫШЬ ДЛЯ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕМОПОЭТИЧЕСКИХ СТЕВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА IN VIVO <i>Н.И. Атаманюк, Е.А. Пряхин, С.С. Андреев, А.Е. Алдибекова, Е.Л. Завьялов</i>	84

ЧАСТОТА ЛИМФОЦИТОВ С МИКРОЯДРАМИ У ВНУТРИУТРОБНО ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ <i>Ю.Р. Ахмадуллина</i>	85
ОЦЕНКА ГЕНОТОКСИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В ТКАНЯХ С РАЗНЫМ ТЕМПОМ ПРОЛИФЕРАЦИИ У ЖИВОТНЫХ, ОБИТАВШИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА И У ИХ НЕОБЛУЧЕННЫХ ПОТОМКОВ <i>Л. А. Баишыкова, О. В. Раскоша</i>	86
МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ РАЙОНОВ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ <i>Д. В. Васильев, С. А. Гераськин</i>	87
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЖИЗНЕННЫХ РИСКОВ <i>Е.В. Васильев, Е.А. Анненкова, А.П. Бирюков, Ю.В. Орлов, С.М. Думанский, А.Р. Туков</i>	88
ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ МЕМБРАН В <i>ZEА МАУS</i> И <i>CICER ARIETINUM</i> , СЕМЕНА КОТОРЫХ ПОДВЕРГЛИСЬ ПРЕДПОСЕВНОМУ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЮ <i>М.З.Велиджанова, Г.А.Годжаева, Э.С. Джафаров</i>	89
СХОДСТВО ТРАНСКРИПТОМНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ НА ХРОНИЧЕСКОЕ НИЗКОДОЗОВОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ <i>Волкова П.Ю., Дуарте Г.Т., Подлуцкий М.С.</i>	90
МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО β -ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ РАСТЕНИЙ <i>М. А. Гринберг, Ю. А. Немцова, М. М. Ладейнова, Д. В. Кузнецова, Е. Н. Громова, А. А. Брилкина, С. В. Гудков, В. А. Воденеев</i>	91
РАДИАЦИОННОЕ ПОРАЖЕНИЕ МОЗГА ПРИ МАЛЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ <i>О.П. Гундарова, В.П. Федоров, Н.В. Маслов, Н.В. Сгибнева, А.Н. Кварацхелия</i>	92
РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ГИБЕЛИ КЛЕТОК, ВЫЗВАННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЕМ ДНК <i>Б. Животовский</i>	93
РЕАКЦИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОПУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ ИЗ ЗОН ВЛИЯНИЯ АВАРИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ И ФУКУСИМСКОЙ АЭС НА ХРОНИЧЕСКОЕ ОБЛУЧЕНИЕ <i>Е. А. Казакова, Я. А. Манухина, И. А. Пишенин, Е. М. Шестерикова, С. А. Гераськин</i>	94

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО БЕЛКА В ФАСОЛИ И В ЕЕ ПЕРВОМ ПОКОЛЕНИИ <i>К.Г.Караева, Э.С. Джафаров</i>	95
ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ДЛЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ <i>А.Г. Кудяшева, Л.А. Башлыкова</i>	96
ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ И СОСТАВОМ ФОСФОЛИПИДОВ В ПЕЧЕНИ ПОЛЕВКИ-ЭКОНОМКИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОСТИ <i>А.Г. Кудяшева, Н.Г. Загорская</i>	97
ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НА БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ <i>PHASELOLUS</i> L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА <i>Кулиева Н.Р., Бабаев Г.Г., Джафаров Э.С.</i>	98
СОДЕРЖАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В <i>ALHAGI</i> <i>PSEUDALHAGI</i> , ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЗОНЕ ПОВЫШЕННОГО РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ <i>Л.М.Мамедова, Л.В. Аллахвердиева</i>	99
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ И РЕГУЛИРУЮЩИХ НЕКОДИРУЮЩИХ РНК <i>В.Ф.Михайлов, Г.Д.Засухина</i>	100
ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОТЛИЧИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОБЛУЧЕНИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДОЗ <i>О.В. Никитенко</i>	101
ДЛИТЕЛЬНО ПЕРСИСТИРУЮЩИЕ СТАБИЛЬНЫЕ ХРОМОСОМНЫЕ АБЕРРАЦИИ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК В КЛЕТКАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ВЫСОКОДОЗНОГО ГАММА-БЕТА- ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>В.А. Никитина, В.Ю. Нугис, Т.А. Астрелина, И.В. Кобзева, И.А. Галстян, М.Г. Козлова, Е.Е. Ломоносова, Д.Г. Жегло, А.К. Жанатаев, А.С. Самойлов</i>	102
К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ У СОТРУДНИКОВ ПЛУТОНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>В.В.Петушкова, И.И.Пелевина, А.М.Серебряный, И.Н.Когарко, Б.С. Когарко, А.В.Аклеев, Т.В. Азизова, Е.А. Нейфах, И.И. Ганеев, О.В. Ктиторова</i>	103

Р53 ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ В КЛЕТКАХ НЕМЕЛКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЕГКОГО ЧЕЛОВЕКА И ИХ РАДИОРЕЗИСТЕНТНЫХ СУБЛИНИЙ <i>М.В. Пустовалова, Л. Алхаддад, Н.М. Сметанина, А.К. Грехова, Т.М. Блохина, Р.Н. Чупров-Неточин, А.Н. Осипов, С.В. Леонов</i>	104
ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА В КЛЕТКАХ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОЛЕВОК, ОБИТАВШИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА, И У ИХ НЕОБЛУЧЕННЫХ ПОТОМКОВ <i>О. В. Раскоша, Н. Н. Старобор</i>	105
ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ГЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК МОЗГА В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВЫ МЫШЕЙ РАЗНЫМИ ТИПАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>А.В. Родина, Ю.П. Семочкина, А.Н. Романцова, Е.Ю. Москалева</i>	106
ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ НЕЛУЧЕВОГО КОМПОНЕНТА КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ) <i>А. Б. Селезнёв, А. М. Носов, Н. А. Жирнова, К. Д. Мусевич</i>	107
РЕПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВОК-ЭКОНОМОК, ОБИТАВШИХ В БИОГЕОЦЕНОЗАХ С ПОВЫШЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ, И У ИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ПОТОМКОВ (F1) <i>Н.Н. Старобор, О.В. Раскоша</i>	108
МОЛЕКУЛЯРНО-КЛЕТОЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ХИМИО-ЛУЧЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ: НАРУШЕНИЯ РЕПАРАЦИИ ДНК В СТАРЕЮЩИХ КЛЕТКАХ <i>В.Ю. Сухов, Д.В. Фирсанов, Л.В. Соловьева, М.П. Светлова</i>	109
ОПЫТ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РАДИОГЕННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА <i>В.Л.Шарыгин</i>	110
АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, СВЯЗАННЫХ С АДАПТАЦИЕЙ К ХРОНИЧЕСКОМУ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ, В ТКАНЯХ НЕМОДЕЛЬНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>Е.М. Шестерикова, В.С. Бондаренко, Е.А. Казакова, И.В. Горбатова, П.Ю. Волкова</i>	111
РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭФФЕКТЫ НА ЛИПОСОМАХ ИЗ ПРИРОДНЫХ ЛИПИДОВ КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ <i>Л.Н. Шишкина, М.А. Климович, М.В. Козлов, Д.В. Парамонов</i>	112

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА	113
<i>А.А. Цицинатти, С.М. Роднева, Д.В. Молодцова, Н.М. Сметанина, Ю.А. Федотов, Д.В. Гурьев</i>	
СЕКЦИЯ № 3. МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ	115
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА	116
<i>А. В. Аклеев</i>	
РАДИОАДАПТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРОМИКОБИОТЫ В МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА)	117
<i>И.А. Алиев</i>	
МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПЕРВИЧНЫМ ГИПЕРПАРАТИРЕОЗОМ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В РАЙОНАХ, ПОСТРАДАВШИХ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС	118
<i>О. Ф. Атрощенко, И.В. Пухтеева, Н.В. Герасимович</i>	
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВОООБРАЗОВАНИЙ У ПАЦИЕНТОВ ЛПУ ФМБА РОССИИ, ПЕРСОНАЛА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРИКРЕПЛЕННОГО НАСЕЛЕНИЯ	119
<i>А.П. Бирюков, Э.П. Коровкина, Ю.В. Орлов, И.Г. Дибиргаджиев</i>	
ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО СТАРЕНИЯ	120
<i>В.Н. Быков, Е.И. Федорос, С.Е. Пигарев, В.Н. Анисимов</i>	
АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПЕРСОНАЛА ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	121
<i>И.В. Веялкин, С.Н. Никонович, О.Ф. Семененко, О.П. Овчинникова, С.В. Панкова, О.Н. Захарова, И.П. Боровская, Ю.В. Чайкова, Е.А. Дрозд</i>	
АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ТРАНСЛОКАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ОБЛУЧЁННЫХ ЛИЦ ОТ ВОЗРАСТА НАЧАЛА ОБЛУЧЕНИЯ	122
<i>А. В. Возилова</i>	
ДАННЫЕ СИЧ-ИЗМЕРЕНИЙ – ОСНОВА РЕКОНСТРУКЦИИ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ	123
<i>Е.А. Дрозд, Н.Г. Власова</i>	

КЛИНИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАТОЛОГИИ ВЕРХНИХ ОТДЕЛОВ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ЖИТЕЛЕЙ, ПОСТОЯННО ПРОЖИВАЮЩИХ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	124
<i>С.В. Дударенко, С.Н. Лопатин, О.В. Леонтьев</i>	
МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧАЭС	125
<i>С.В. Дударенко, А.А. Новицкий</i>	
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МЕРЦАТЕЛЬНОГО ЭПИТЕЛИЯ МАТОЧНЫХ ТРУБ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХРОНИЧЕСКОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ	126
<i>О.В. Ермакова, Т.В. Кораблева</i>	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГИСТОЭНЗИМОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ГЕМОКАПИЛЛЯРОВ СТАРОЙ И ДРЕВНЕЙ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ АЛКОГОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ И ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	127
<i>В.Н. Ильичева, Д.А. Соколов, Н.А. Насонова</i>	
ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В КОРЕ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС	128
<i>В.Н. Ильичева, А.С. Штемберг</i>	
УРОВЕНЬ ДОКАЗАТЕЛЬНОСТИ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИНАХ РАДИАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ	129
<i>А.Н. Котеров, Л.Н. Ушенкова, А.П. Бирюков</i>	
СОДЕРЖАНИЕ CD34+-КЛЕТОК В ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ	130
<i>А. И. Котикова, Е. А. Блинова, А. В. Аклев</i>	
ГОМЕЛЬСКАЯ КЛЕТКА	131
<i>В.Ю. Кравцов</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЛОМЕРНЫХ РАЙОНОВ ХРОМОСОМ В Т-ЛИМФОЦИТАХ ЛЮДЕЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ ХРОНИЧЕСКОМУ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ	132
<i>Кривошапова Я. В.</i>	
ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИЯХ «УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ»	133
<i>Е.Г. Метляев, Н.К. Шандала, А.М. Лягинская, А.В. Титов</i>	
ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ДВУХ БОЛЬНЫХ ОСТРЫМ ЛЕЙКОЗОМ, ПЕРЕНЕСШИХ ОСТРУЮ ЛУЧЕВУЮ БОЛЕЗНЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС	134
<i>Н.А. Метляева, А.Ю. Бушманов, И.А. Галстян, М.В. Кончаловский, А.А. Давтян</i>	

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НЕОСТРИАТУМА ПРИ ОДНОКРАТНОМ И ФРАКЦИОНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДОЗЕ 0,5 ГР	135
<i>Н.А. Насонова, Д.А. Соколов, А.Г. Кварацхелия, В.Н. Ильичева</i>	
ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В ДОЗЕ 0,2 ГР НА СПОСОБНОСТЬ К ОБУЧЕНИЮ ПОТОМСТВА ОБЛУЧЕННЫХ САМЦОВ КРЫС	136
<i>В.В. Панфилова, О.И. Колганова, О.Ф. Чибисова</i>	
СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОТЫ КИШЕЧНИКА У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС	137
<i>Г.Г. Родионов, И.И. Шантырь, И.Э. Ушал, Е.А. Колобова, Е.В. Светкина</i>	
ЧАСТОТА ГЕМОПОЭТИЧЕСКИХ СТВОЛОВЫХ И ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК-ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ, ЦИРКУЛИРУЮЩИХ В КРОВИ ПРОФЕССИОНАЛОВ-АТОМЩИКОВ	138
<i>Е.И. Селиванова, И.А. Замулаева</i>	
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ У СТАРЫХ МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ В ДОЗЕ 2 ГР	139
<i>Я.В.Сидакова, А.Н. Абросимова, В.Н. Гаевский, А.А. Иванов</i>	
ПОВРЕЖДЕНИЕ ДНК ЛЕЙКОЦИТОВ КРОВИ И ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ РЯДА ГЕНОВ В КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ В РАЗНЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ УГЛЕРОДА	140
<i>Н.П. Сирота, Е.А. Кузнецова, О. М. Розанова, В.А. Пикалов, Е.Н. Смирнова</i>	
ПЛУТОНИЙ И СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ У РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК» ПРИ ОПУХОЛЕВЫХ И НЕОПУХОЛЕВЫХ ПРИЧИНАХ СМЕРТИ	141
<i>В.И. Тельнов</i>	
МЕДИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ «ЧЕЛОВЕК» УРАЛЬСКОГО НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ	142
<i>С.В. Тряпицына, Н.В. Старцев, А.В. Аклеев</i>	
АЛКОГОЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЯХ МОЗГА	143
<i>В.П. Федоров, И.Б. Ушаков, А.Н.Асташова</i>	
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЖИРОРАСТВОРИМЫХ ВИТАМИНОВ В КРОВИ МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС	144
<i>И.И. Шантырь, Г.Г. Родионов, С.В. Дударенко, Е. В. Белокурова, И.Э. Ушал, Е.А. Колобова, Е.В. Светкина</i>	

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ (ОМЕГА-3 И ОМЕГА-6) В КРОВИ МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС	145
<i>И.И. Шантырь, Г.Г. Родионов, С.В. Дударенко, Е. В. Белогурова, И.Э. Ушал, Е.А. Колобова, Е.В. Светкина</i>	
ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТИНА ОБЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА МОНОГАСТРИЧНЫХ ЖИВОТНЫХ ГОРЯЧИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ	146
<i>С.Г. Шаповалов, Г.В. Козьмин, В.А. Бударков</i>	
КВАЗИМЕХАНИЗМЕННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО РИСКА С УЧЕТОМ РЕПАРАЦИИ ДНК ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ	147
<i>И. Л. Шафранский, А. Р. Туков</i>	
СЕКЦИЯ № 4. РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ	149
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ДОЗЫ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ – НАБЛЮДАЕМОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛА И ПОПЫТКИ ЕГО РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЯСНЕНИЯ	150
<i>А.А. Вайнсон, Е.В. Соловьева</i>	
ВОССТАНОВЛЕНИЕ КЛЕТОК ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ПЛОТНОИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СУЛЬФАТА МЕДИ	151
<i>О.А. Воробей, М.Д. Пронкевич, С.В. Белкина</i>	
РАДИОСЕНСИБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ БОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ IN VITRO	152
<i>Л. Гараева, В. Бурдаков, Н. Разгильдина, А. Волницкий, Д. Амерканов, Ф. Пак, Д. Лебедев, К. Шабалин, Е. Иванов, В. Ежов, А.Л. Коневега, Т.А. Штам</i>	
РАЗРАБОТКА РАДИОПРОТЕКТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ	153
<i>К.А. Каменских, А.Л. Попов, А.М. Ермаков, Д.Д. Колманович, В.К.Иванов</i>	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ И ПРОТОНОВ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САРКОМЫ М-1	154
<i>А. Е. Корецкая, В. В. Южаков, С. Н. Корякин, Н. К. Фомина, А. Н. Соловьев, И.Э. Ингель, Л. Е. Севанькаева, Н. Д. Яковлева, М. Г. Цыганова</i>	

ЭРИТРОЦИТАРНЫЙ «ЦИТОМ»-ТЕСТ НА МОДЕЛИ <i>Danio rerio</i> В ПЕРСПЕКТИВЕ ДОКЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ <i>А.А.Ливанова, А.В.Завирский, М.П.Привалов, А.А.Панкратов, И.В.Ильичев, В.Ю.Кравцов</i>	155
РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПУЛА ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КЛИНИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ <i>Матчук О.Н., Селиванова Е.И., Замулаева И.А.</i>	156
ВЛИЯНИЕ ОДНОКРАТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРЫ НЕОСТРИАТУМА <i>Н.А. Насонова, Д.А. Соколов, А.Г. Кварацхелия, Ж.А. Анохина</i>	157
ДОЦЕТАКСЕЛ В НИЗКИХ ДОЗАХ СЕНСИБИЛИЗИРУЕТ КЛЕТКИ МАММОСФЕР И ОСК АДЕНОКАРЦИНОМЫ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ЛИНИИ MCF7 К ДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Г. А. Посыпанова, А. Н.Поджилкова, В. Г. Шуватова, Ю. П. Семочкина</i>	158
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРА NOS T1023 В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ ОСТРЫХ И ПОЗДНИХ ЛУЧЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ <i>Сабурова А.С., Филимонова М.В., Южаков В.В., Шевченко Л.И., Сабуров В.О., Лычагин А.А., Филимонов А.С.</i>	159
МОДУЛЬНЫЕ НАНОТРАНСПОРТЕРЫ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЭМИТТЕРОВ ЧАСТИЦ С КОРОТКИМ ПРОБЕГОМ В ЯДРА РАКОВЫХ КЛЕТОК-МИШЕНЕЙ <i>Соболев А.С.</i>	160
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ОСТРОГО И ХРОНИЧЕСКОГО БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КЛЕТКИ ЭПИДЕРМОИДНОЙ КАРЦИНОМЫ ЧЕЛОВЕКА A431 <i>Сороко С.С., Кутова О.М., Балалаева И.В., Брилкина А.А., Воденеев В.А., Щилягина Н.Ю.</i>	161
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ И ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР ОТДАЧИ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ НА КЛЕТКИ V14-150 <i>М. В. Трошина, Е. В. Корякина, В. И. Потетня, А. Н. Соловьев, В. О. Сабуров, Е. И. Казаков, С. С. Дюженко, А. А. Лычагин, С. Н. Корякин</i>	162
БИОДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОБОЧНОГО ОБЛУЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ РАДИОЙОДТЕРАПИИ <i>И.К.Хвостунов, В.В.Крылов, А.А. Родичев, Н.Н. Шепель, О.Н. Коровчук, В.С. Пятенко, А.С. Жиронкина, Т.И.Хвостунова</i>	163

БОЛЕВОЙ СИНДРОМ КАК КРИТЕРИЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОСТНЫХ МЕТАСТАЗОВ <i>Е.В. Хмелевский, Н.М. Бычкова</i>	164
ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ ВИМЕНТИНА В ОБРАЗЦАХ РАКА ШЕЙКИ МАТКИ В ОТВЕТ НА ОБЛУЧЕНИЕ В СУММАРНОЙ ОЧАГОВОЙ ДОЗЕ 10 ГР <i>А.О. Якимова, О.Н. Матчук, В. Р. Гусарова, Е.И. Селиванова, Л.С. Мкртчян, И.А. Замулаева</i>	165
ПОИСК МЕХАНИЗМОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОРАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ТРИЖДЫ НЕГАТИВНОГО РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ <i>А.О. Якимова, А.В. Хохлова, В.А. Мосина, А.Е. Кабаков</i>	166
ДИСУЛЬФИДЫ ГЛУТАТИОНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ЛЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ И ХИМИОЛУЧЕВЫХ МУКОЗИТОВ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ОРОФАРИНГЕАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ <i>А. А. Ярцева, А. Г. Климов, А. А. Антушевич, А. Н. Гребенюк</i>	167
СЕКЦИЯ № 5. РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИОЛОГИЯ	169
ЛЕЧЕБНОЕ ДЕЙСТВИЕ ИСКУССТВЕННО МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ <i>Андреанова И.Е., Ставракова Н.М., Парфенова И.М., Бычкова Т.М., Никитенко О.В., Караулова Т.А., Иванов А.А.</i>	170
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ И ГИПОГРАВИТАЦИИ, МОДЕЛИРУЕМЫХ В НАЗЕМНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ, НА ФУНКЦИИ ЦНС ОБЕЗЬЯН МАСАСА МУЛАТТА <i>А. Г. Беляева, А. С. Штемберг</i>	171
КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ – ЗДОРОВЬЕ И РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ <i>Иванов А.А.</i>	172
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ И ИММОБИЛИЗАЦИОННОГО СТРЕССА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕРДЦА И ПОВЕДЕНЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КРЫС <i>Е.М. Кадукова, М.А. Бакиаева</i>	173
ОТСТАВЛЕННОЕ ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ГАММА- ОБЛУЧЕНИЯ И ИОНОВ УГЛЕРОДА ¹² C НА ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭЭГ И НЕЙРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ КРЫС <i>Лебедева-Георгиевская К. Б., Базян А.С., Кудрин С.В., Митрофанова О.В.</i>	174

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КРЫС С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ И ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ ¹² C	175
<i>А.А. Перевезенцев, А.С. Штемберг</i>	
ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ СТРЕССА И ОБЛУЧЕНИЯ НА РЕШЕНИЕ МЫШАМИ КОГНИТИВНОГО ТЕСТА	176
<i>Перепелкина О.В., Полетаева И.И., Огиенко Н.А., Кошлань И.В., Павлова Г.В., Ревущин А.В.</i>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ ПОЛОВОЗРЕЛЫХ КРЫС ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ЛПЭ	177
<i>Ю.С. Северюхин</i>	
ЭФФЕКТЫ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА КОГНИТИВНУЮ ГИБКОСТЬ МЫШЕЙ	178
<i>А.Е. Солдатова, О.Н. Долгов, О.А. Минеева, М.Ю. Копеева, М.В. Галкин, Н.А. Фильченкова, Г.Н. Ениколопов, А.А. Лазуткин</i>	
МАЛЫЕ И БОЛЬШИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ НЕЙРОМОРФОЛОГИИ	179
<i>В.П. Федоров, И.Б. Ушаков</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОПЕРАТОРСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА НА МОДЕЛИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ОБЕЗЬЯН	180
<i>И. Д. Шамсиев, И.В. Бондарь, Л.Н. Васильева, Л.В. Терещенко, А.В. Латанов</i>	
РАДИАЦИОННАЯ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ, ПРОБЛЕМАТИКА, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ	181
<i>Штемберг А.С.</i>	
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ И ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОСТАВ И ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА РЕТИНОИДОВ СЕТЧАТКИ И РЕТИНАЛЬНОГО ПИГМЕНТНОГО ЭПИТЕЛИЯ ГЛАЗА МЫШИ	182
<i>М.А. Яковлева, К.Н. Ляхова, Д.М. Утина, Ю.В. Виноградова, И.А. Колесникова, Т.Б. Фельдман, М.А. Островский</i>	
СЕКЦИЯ № 6. РАДИАЦИОННАЯ ИММУНОЛОГИЯ И ГЕМАТОЛОГИЯ	183
МЕХАНИЗМЫ ОТДАЛЁННЫХ ПОСТРАДИАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ИММУНИТЕТА	184
<i>А.А. Аксеев</i>	

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО БЕНТОНИТА С ЦЕЛЬЮ КОНСТРУИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИКУМА ДЛЯ ИНДИКАЦИИ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКСИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ <i>Р.Р. Гайнуллин</i>	185
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ АЛЬВЕОЛЯРНЫХ МАКРОФАГОВ У МЫШЕЙ ЛИНИИ А/ф В УСЛОВИЯХ ОСТРОГО И ХРОНИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Е.М. Кадукова</i>	186
БИОЭФФЕКТЫ ОБЕДНЕННОГО УРАНА НА МУКОЗАЛЬНЫЙ ИММУНИТЕТ ТОЩЕЙ КИШКИ <i>Э.Ф. Кудяева</i>	187
ОЦЕНКА РАДИОМОДИФИЦИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ИНГИБИТОРА NOS T1023 ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В ПОСТЛУЧЕВОМ ПЕРИОДЕ <i>В.М. Макаrchук, М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, А.С. Филимонов, О.С. Измestьева, А.С. Сабурова, В.О. Сабуров, А.А. Лычагин</i>	188
ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ОТВЕТ ОРГАНОВ У ГРЫЗУНОВ (<i>Apodemus agrarius</i> Pallas, 1771) НА РАДИАЦИОННУЮ НАГРУЗКУ В ЗОНЕ ВУРСa <i>Н.А. Орехова</i>	189
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ДОЗ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОФИЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ АНТИГЕНОВ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА <i>Д.Ю. Усупжанова, Т.А. Астрелина, И.В. Кобзева, В.В. Брунчуков, А.А. Расторгуева, Е.И. Добровольская, Н.В. Соколова, А.С. Самойлов</i>	190
СЕКЦИЯ № 7. ПРОТИВОЛУЧЕВЫЕ СРЕДСТВА	191
ИНТЕРЛЕЙКИН-1 β КАК СРЕДСТВО ПРОФИЛАКТИКИ И ТЕРАПИИ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ОТ СОЧЕТАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ <i>Н.В. Аксенова, Д.А. Сидоров, А.Н. Гребенюк</i>	192
ГЕРОПРОТЕКТОРЫ И РАДИОМИТИГАТОРЫ НА ОСНОВЕ ТИОНИТРОЗИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА <i>С. М. Алдошин, В. В. Безруков, Е. Н. Горбань, В. К. Кольтовер, Н. А. Санина</i>	193
ФАРМАКОТЕРАПИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ЖИВОТНЫХ ИСКУССТВЕННЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ <i>В.А.Бударков, А.С.Зенкин, Н.В.Грехова, Г.В.Козьмин</i>	194
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА, СОЧЕТАЮЩИЕ РАДИОЗАЩИТНЫЕ И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА <i>Быков В.Н., Федорос Е.И., Анисимов В.Н., Романенко С.Н.</i>	195

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ИЗ ВЕЩЕСТВ МИКРОБНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОПРОТЕКТОРОВ <i>К.Н.Вагин, В.Г.Семенов, Н.М.Василевский, Р.Н. Низамов</i>	196
ВЛИЯНИЕ ДАФС-25к И «Монклавит-1» НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У КРЫС ПРИ ОСТРОМ РАДИАЦИОННОМ ПОРАЖЕНИИ <i>Р.О. Васильев, С.А. Бревнов, Н.Ю. Югатова</i>	197
КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ КАК ОТРАЖЕНИЕ СТРАТЕГИИ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ <i>М. В. Васин, И. Б. Ушаков</i>	198
ДИЭФИРЫ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ С РАДИОПРОТЕКТОРАМИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БИОДОСТУПНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИХ ДЕЙСТВИЯ <i>М. В. Васин, Р.В. Афанасьев</i>	199
ГЕПАТО- И РАДИОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ БАЗИДИОМИЦЕТОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПОРАЖЕНИИ У МЫШЕЙ <i>Н.Н. Веялкина, Е.М. Кадукова, О.В. Шаховская, К.М. Фабушева, Е.А. Медведева, В.В. Трухоновец</i>	200
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СХЕМЫ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ РАДИАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ <i>Т.Н. Власенко, О.З. Мустаев, Н.В. Аксенова, М.Р. Булатов, А.А. Суценин, В.В. Колбасов</i>	201
ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ГАЛАЗОЛИНА ПРИ МЕСТНОМ ЛУЧЕВОМ ПОРАЖЕНИИ ТКАНЕЙ <i>М.Д. Воронцова, Н.М. Ставракова, В.Н. Мальцев, А.В. Даценко</i>	202
ЛЕЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРАВМЫ, ПОЛУЧЕННОЙ НА ФОНЕ РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ <i>Т.Р. Гайнутдинов, А.М. Идрисов, В.П. Шашкаров, В.А. Гурьянова, Р.Н. Низамов</i>	203
ПИЩЕВЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ МИЦЕЛИЯ ВЕШЕНКИ ОБЫКНОВЕННОЙ «ГРИБНОЙ ЧУДОДЕЙ®» И «ТАЙНА ВЕШЕНКИ®» И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ РАДИОСТРОНЦИЕМ <i>В.П.Герасименя, С.В.Захаров, Т.И.Милевич</i>	204
ПРОФИЛАКТИКА И ЭКСТРЕННАЯ ТЕРАПИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ <i>В. Д. Гладких, К. Н. Филин</i>	205

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ИНКОРПОРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ <i>В. Д. Гладких</i>	206
К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК К ПИЩЕ, СНИЖАЮЩИХ РИСК РАЗВИТИЯ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>В. Д. Гладких, С. Н. Романенко</i>	207
ВЛИЯНИЕ РОНКОЛЕЙКИНА В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ЛЕЧЕНИЯ НА ТЯЖЕСТЬ ТЕЧЕНИЯ И ИСХОДЫ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ <i>Д. К. Глинко, И. С. Драчев, А. Ю. Кондаков, Д. В. Ремизов</i>	208
ДОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ФАРМАКОЛОГИИ <i>А. Н. Гребенюк</i>	209
ВЛИЯНИЕ ЭДАРАВОНА НА ТЕЧЕНИЕ КОСТНО-МОЗГОВОГО СИНДРОМА ОСТРОГО РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ <i>О.А. Данилова, И.С. Драчёв, Е.Б. Супрунова, Е.А. Якунчикова</i>	210
ЛЕЧЕБНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИНГЕННЫХ КУЛЬТИВИРОВАННЫХ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК (ММСК) И КЛЕТОК СТРОМАЛЬНО-ВАСКУЛЯРНОЙ ФРАКЦИИ (СВФ) ЖИРОВОЙ ТКАНИ ПРИ ТЯЖЕЛЫХ МЕСТНЫХ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЯХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ <i>Ю.Б. Дешевой, В.Г. Лебедев, Т.А. Насонова, О.А. Добрынина, А.В. Лырщикова, Т.А. Астрелина, Б.Б. Мороз</i>	211
ХИРУРГИЧЕСКОЕ ИССЕЧЕНИЕ ЛУЧЕВОЙ ЯЗВЫ В СОЧЕТАНИИ С КЛЕТОЧНОЙ ТЕРАПИЕЙ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЛЕЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ КОЖИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ <i>Ю.Б. Дешевой, В.Г. Лебедев, Т.А. Насонова, О.А. Добрынина, А.В. Лырщикова, Т.А. Астрелина, Б.Б. Мороз</i>	212
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕПАРАТА СЕЛЕНОКСАНТЕН НА ПОКАЗАТЕЛИ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В КЛЕТКАХ ПЕЧЕНИ И МОЧЕ ОБЛУЧЕННЫХ КРЫС <i>Л.А. Дзиковская, Т.И. Иванова, Е.С. Дегтярева</i>	213
ТОШНОТА И РВОТА, ИНДУЦИРОВАННАЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ, – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ <i>И.С. Драчев</i>	214
ОЦЕНКА РАДИОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ 9-ФЕНИЛ-СИМ- ОКТАГИДРОСЕЛЕНОКСАНТЕНА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА КОЛОНИЕОБРАЗУЮЩИХ ЕДИНИЦ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ <i>К.Т. Еримбетов, А.Я. Гончарова, Е.В. Бондаренко, Т.И. Хомякова</i>	215

ВЛИЯНИЕ БЕНЗАМИДА НА АНТИЭМЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАТРАНА <i>В.В. Зорин, К.С. Мартиросов</i>	216
МЕТОД <i>IN SILICO</i> В ИЗУЧЕНИИ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПРОИЗВОДНЫХ НАФАЗОЛИНА <i>В.С. Иванов, Е.В. Ивченко, А.Б. Селезнёв</i>	217
РАЗРАБОТКА РАДИОЗАЩИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ РАДИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ <i>К.Т. Ишмухаметов, Р.Н. Низамов, А.В. Фролов, Я.М. Курбангалеев, Д.Т. Шарифуллина</i>	218
РАДИОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ МЕТФОРМИНА И МЕКСИДОЛА ПРИ РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ <i>Е.Е. Карманова, А.В. Черников, А.М. Усачева, М.Г. Шарапов, Е.А. Замятина, В.А. Аникина, И.Брусков</i>	219
МОДИФИКАЦИЯ ПИРАЦЕТАМОМ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НЕЙРОНОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ИНДУЦИРУЕМЫХ ТОТАЛЬНЫМ ФРАКЦИОННЫМ ГАММА ОБЛУЧЕНИЕМ <i>И.А. Колесникова, Н.Н. Буденная, Ю.С. Северюхин, В.Н. Гаевский, М. Лалковичова, К.Н. Ляхова, Д.М. Утина</i>	220
ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ МЕСТНОГО ЛЕЧЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ОЖОГОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ РАДИАЦИОННОМ ПОРАЖЕНИИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ <i>А.Ю. Кондаков, Д.В. Ремизов, П.В. Тихомиров</i>	221
КОМПЕНСАТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЛАКТОФЕРРИНА ПРИ ОСТРОМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ <i>М.Ю. Копаева, И.Б. Алчинова, М.В. Нестеренко, А.Б. Черепов, М.С. Деморжи, И.Ю. Зарайская, М.Ю. Карганов</i>	222
НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКИХ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ <i>И.И. Красильников</i>	223
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ И ТЕРАПИИ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ <i>В.И. Легеза, И.С. Драчев, А. Н. Гребенюк</i>	224
МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ «ЦЕРЕБРОЛИЗИНА» НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И РАБОЧУЮ ПАМЯТЬ КРЫС ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПРОТОНАМИ <i>Ляхова К.Н., Утина Д.М., Колесникова И.А., Молоканов А.Г.</i>	225

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СВОЙСТВ БЕТА-D-ГЛЮКАНА	226
<i>Е. В. Мурзина, Г. А. Софронов, А. С. Симбирцев, Н. В. Аксенова, О. М. Веселова, Н. А. Жирнова, Н. А. Климов</i>	
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСДЕРМАЛЬНОГО И ПОДКОЖНОГО СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ БЕЛКОВОГО ЛИПОСОМАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ КОЖИ У МЫШЕЙ	227
<i>Н.А. Обвинцева, Г.А. Тряпицына, Н.И. Атаманюк, Е.А. Пряхин, Л.Н. Семенкова, Ю.И. Остроумов</i>	
ЛИПОСОМАЛЬНЫЙ рчАФП – СРЕДСТВО ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ	228
<i>Е. А. Пряхин, И. А. Шапошникова, Г. А. Тряпицына, Ю.И. Остроумов, Л. Н. Семенкова, П. С. Шмелин, А. В. Аклеев</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ γ -ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙРАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК МЫШИ С ПОМОЩЬЮ ФАКТОРОВ, СЕКРЕТИРУЕМЫХ НЕЙРАЛЬНЫМИ И МЕЗЕНХИМАЛЬНЫМИ СТВОЛОВЫМИ КЛЕТКАМИ	229
<i>М.Г. Ратушняк, Ю. П. Семочкина</i>	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕКСАМЕТАЗОНА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОМ ПОРАЖЕНИИ	230
<i>Д.В. Ремизов, А.Ю. Кондаков, П.В. Тихомиров</i>	
СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ В РОССИИ: ПУТИ ВЫХОДА ИЗ КРИЗИСА	231
<i>Л.М.Рождественский</i>	
РАЗРАБОТКА ВОЗМОЖНЫХ БИОМАРКЕРОВ МЕДИКАМЕНТОЗНО ПОВЫШЕННОЙ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ И УСКОРЕННОГО ПОСТРАДИАЦИОННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ	232
<i>Л.М.Рождественский, Т.М.Блохина, Л.П.Сычева, Л.В.Шуленина, Д.В.Салеева, М.А.Игнатов, Н.И.Лисина, К.Ю.Романова, Н.Ю.Воробьева, В.Ф.Михайлов, А.Н.Осипов</i>	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФЛАГЕЛЛИНА ПО ТЕСТАМ ВЫЖИВАЕМОСТИ И МИКРОЯДЕР	233
<i>К.Ю. Романова, Н.И. Лисина, Л.П. Сычева, Л.М. Рождественский</i>	
НОВОЕ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ РОССИИ О РЕГИСТРАЦИИ РАДИОЗАЩИТНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ	234
<i>К.С. Семенович</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ИММУНОБИОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЗАЩИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ	235
<i>А.С.Симбирцев</i>	

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ГЕНИСТЕИНА КАК ПЕРСПЕКТИВНОЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СУБСТАНЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ	236
<i>О. Ю. Стрелова, Л. С. Теслов, К. В. Волкова</i>	
НАРУШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА РАННЕГО НАРУШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)	237
<i>П.В. Тихомиров, Д.В. Ремизов, А.Ю. Кондаков</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ AraC (ЦИТАРАБИН) И ПРОТОНОВ НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ КРЫС	238
<i>Д.М. Утина, К.Н. Ляхова, И.А. Колесникова</i>	
ИНГИБИТОРЫ NOS КАК ОСНОВА НОВОГО КЛАССА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОМОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ И ОНКОЛОГИИ	239
<i>М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, А.С. Филимонов, М.В. Макаrchук, А.С. Сабурова, А.А. Шитова, О.В. Солдатова</i>	
ВЛИЯНИЕ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ СТВОЛОВЫХ КРОВЕТВОРНЫХ КЛЕТОК У МЫШЕЙ ПОСЛЕ ОСТРОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ	240
<i>И. А. Шапошникова, Е. А. Пряхин, И. В. Чурилова, А. Н. Гребенюк, А. В. Аклев</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ БЕЛКОВ- АНТИОКСИДАНТОВ СЕМЕЙСТВА ПЕРОКСИРЕДОКСИНЫ	241
<i>М. Г. Шарапов, В. И. Новосёлов, В. И. Брусков, С. В. Гудков</i>	
СЕКЦИЯ № 8. РАДИОБИОЛОГИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ. КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ	243
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИОНОВ УГЛЕРОДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛИНЕЙНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70 ПРИ ТОТАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ ПО ТЕСТУ 30-СУТОЧНОЙ ВЫЖИВАЕМОСТИ	244
<i>Т.А. Белякова, О.М. Розанова, Е.Н. Смирнова, С.И. Заичкина, А.Р. Дюкина, С.С. Сорокина, В.А. Пикалов</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ НАРУШЕНИЙ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ И ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЕЙСТВИИ УСКОРЕННЫХ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ	245
<i>А.В. Борейко, М.Г. Заднепрянец, Е.А. Красавин, Е.А. Куликова, Е.В. Смирнова, Г.Н. Тимошенко, Т.С. Храмко</i>	

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В КОСТНОМ МОЗГЕ МЫШЕЙ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ И ГАММА-КВАНТАМИ <i>Т.М. Бычкова</i>	246
ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ОБЕЗЬЯН ЯДРАМИ КРИПТОНА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ <i>И.Н.Клоц, И.В.Кошлань, Г.Н. Тимошенко, Т.Е. Гвоздик, Д.Д. Карал-оглы, И.А.Гварамия, О.А. Шамсутдинова, Е.И.Мухаметзянова, Е.А.Красавин, Б.А.Лапин</i>	247
ИНДУКЦИЯ И РЕПАРАЦИЯ КЛАСТЕРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В НЕЙРОНАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ ГРЫЗУНОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С РАЗНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ <i>Р. А. Кожина, А. В. Борейко, Е.В. Ильина, Е.А. Красавин, Е. А. Кузьмина, С. И. Тиунчик, В.Н. Чаусов</i>	248
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ОБЕЗЬЯН <i>MALATTA</i> ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИПОКИНЕЗИИ И ОБЛУЧЕНИЯ <i>Н.А. Кошлань, М.Д. Исакова, Ю.В. Богданова, А.Г. Беляева, И.В. Кошлань, А.С. Штемберг, Е.А. Красавин</i>	249
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЕ И ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН САЛАТА, ОБЛУЧЕННЫХ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ УГЛЕРОДА, ПРИ ПРОРАЩИВАНИИ В ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ <i>Н.Г. Платова, В.М. Лебедев, А.В. Спасский, К.А. Труханов, К.О. Иноземцев, Р.В. Толочек</i>	250
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА В СТАДИЯХ G_0 И G_1 КЛЕТОЧНОГО ЦИКЛА ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОГО И НЕПРЕРЫВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РЕАКТОРЕ БАРС-6 <i>В. И. Потетня, Е. В. Корякина</i>	251
СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК МЫШИ К НИЗКИМ ДОЗАМ γ - И ПРОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Ю.П. Сёмочкина, О.Д. Смирнова, А.В. Родина, С.Т. Латушкин, В.Е. Лукьяшин, Е.Ю. Москалёва</i>	252
ВЛИЯНИЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ПУЧКА ИОНОВ УГЛЕРОДА УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА У-70 НА ПОВЕДЕНИЕ МЫШЕЙ В РАННИЕ И ПОЗДНИЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ <i>С.С. Сорокина, С.И. Заичкина, О.М. Розанова, Е.Н. Смирнова, А.Е. Мальков, В.А. Пикалов</i>	253
КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ ОБЕЗЬЯН ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ МОЗГА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРОТОНАМИ <i>Л.В. Терещенко, Я.И. Кривенков, А.В. Латанов</i>	254

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОТОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОБЕЗЬЯН <i>Л.В. Терещенко, И.Д. Шамсиев, Л.Н. Васильева, И.В. Бондарь, А.В. Латанов, Е.А. Красавин</i>	255
НОВЫЙ ТИП СИМУЛЯТОРА РАДИАЦИОННОГО ПОЛЯ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ <i>Тимошенко Г.Н., Гордеев И.С.</i>	256
КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ <i>И.Б. Ушаков</i>	257
ИНДУКЦИЯ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК В НОРМАЛЬНЫХ И ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТКАХ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ АРАБИНОЗИДЦИТОЗИНА ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА <i>В.Н. Чаусов, А. В. Борейко, Е.В. Ильина, Р. А. Кожина, Е.А. Красавин, Е. А. Кузьмина, С. И. Тиунчик</i>	258
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕКРЕЦИИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЦИТОКИНОВ В КУЛЬТУРЕ ИММОРТАЛИЗОВАННЫХ МИКРОГЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК МЫШИ SIM-A9 ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С РАЗНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ <i>О.О. Черняк, О.В. Комова, В.С. Гаврилова, Д.А. Комаров</i>	259
ОБОБЩЕННЫЕ ДОЗЫ И СУММАРНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ РИСК ПРИ ПОЛЕТЕ НА МАРС ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАДИАЦИОННОГО НОРМИРОВАНИЯ <i>А.В. Шафиркин, В.Г. Митрикас, В.А. Шуришаков</i>	260
ОПЫТ РАДИАЦИОННЫХ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КОМПЛЕКСЕ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ «ПРОМЕТЕУС» <i>Шемяков А.Е., Заичкина С.И., Розанова О.М., Смирнова Е.Н., Сорокина С.С., Дюкина А.Р., Балакин В.Е., Белякова Т.А.</i>	261
СЕКЦИЯ № 9. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ	263
ВЛИЯНИЕ МУТАНТНЫХ ФОРМ СИНАПТИЧЕСКИХ NMDA-РЕЦЕПТОРОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГИППОКАМПА <i>С.В. Аксенова, А.С. Батова, А.Н. Бугай, Э.Б. Душанов</i>	264
СООТНОШЕНИЕ ДОЗА–ЭФФЕКТ – ВРЕМЯ ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ <i>С.Г.Андреев, В.С.Пятенко, Ю.А.Эйдельман, А.К.Грехова, А.Н.Осипов, И.К.Хвостунов, С.В.Сланина</i>	265

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ГИБЕЛИ КЛЕТОК ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ <i>М. Батмунх, А.Н. Бугай, Л. Баярчимэг, О.Лхагва</i>	266
ИЕРАРХИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОБИОЛОГИИ <i>А.Н. Бугай, М.Батмунх, А.С.Батова, Л.Баярчимэг, А.А. Глебов, Э.Б. Душанов, И.М. Енягина, Е.А. Колесникова, А.Ю. Пархоменко, А.В. Чижов</i>	267
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ ПРЕФРОНТАЛЬНОЙ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА <i>А.Н.Бугай, Е.Б. Душанов, Е.П. Попова</i>	268
ИНВАРИАНТНОСТЬ МОДЕЛИ СТАРЕНИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ: ФРАКТАЛЬНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ <i>В.Д. Гладких, А.А. Викторов, А.В. Алехнович, Е.А. Анофриев</i>	269
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ МЕТОДАМИ БИОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Ю.А.Эйдельман, С.В.Сланина, С.Г.Андреев</i>	270
СЕКЦИЯ № 10. ДОЗИМЕТРИЯ И МИКРОДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	271
БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ У ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ <i>С.С. Алексанин, Е.Г. Неронова</i>	272
ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ВОДЕ <i>А.Г.Алексеев, А.В.Антипов</i>	273
АЛМАЗНЫЙ ДЕТЕКТОР ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>А.Г.Алексеев, А.В.Антипов</i>	274
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА РБС У-70 <i>А.Г.Алексеев, В.А.Пикалов, О.В.Кирюхин</i>	275
СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРИМЕРЕ ПАО «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД» <i>Е.О. Грановская, А.М. Полещук, О.А. Дорохова, Е.Ю. Максимова, Е.А. Корнева, А.А. Шитова, Е.А. Дашанова</i>	276

ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА, ЗАНЯТОГО НА УЧАСТКАХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОКС-ТОПЛИВА <i>А.В. Ефимов, М.В. Ишунина, С.А. Сыпко, А.Б. Соколова, А.Б. Джунушалиев, В.Р. Баталов, С. А. Романов</i>	277
ОСОБЕННОСТИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА БИОСПУТНИКАХ <i>О.А. Иванова, В.А. Шуршаков</i>	278
ПЕРЕХОД ОТ ДОЗ НА ОСИ ПУЧКОВ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ ФАНТОМЕ К ДОЗАМ В ВОДНОМ ФАНТОМЕ ДЛЯ МАЛЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>В.А. Климанов, Ж.Ж. Галяутдинова, Ю.С. Кирпичев, М.А. Колыванова</i>	279
ОБЪЕМНЫЙ ЭФФЕКТ МИКРОИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИ ДОЗИМЕТРИИ МАЛЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>В.А. Климанов, П.Н. Казанцев, М.А. Колыванова, С.М. Полозов</i>	280
ВОПРОСЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНОК БИОТЫ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ <i>Т.В. Переволоцкая</i>	281
МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ <i>Т.В. Переволоцкая</i>	282
МИГРАЦИОННО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОТ ГАММА-И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ <i>Т.В. Переволоцкая</i>	283
ОЦЕНКА ДОЗЫ ВНЕШНЕГО БЕТА- И ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ШТАТНЫХ ВЫБРОСАХ ЛАЭС-2 <i>А.Н.Переволоцкий</i>	284
МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЛУГОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ <i>А.Н.Переволоцкий</i>	285
ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО "МИГРАЦИОННО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЛУЧЕНИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЛУГОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ" <i>А.Н.Переволоцкий</i>	286

ДОЗИМЕТРИЯ СИСТЕМНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ КОСТНЫХ МЕТАСТАЗОВ ОСТЕОТРОПНЫМИ РАДИОФАРМПРЕПАРАТАМИ <i>Сухов В.Ю., Л.И.Корытова, М.И.Карелин, Т.В.Хазова, В.В.Метелев</i>	287
РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ДОЗИМЕТРИИ БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ ТРИТИЯ НА КЛЕТОЧНОМ УРОВНЕ <i>Л.В. Тимофеев, А.А. Максимов, О.А. Кочетков, В.Н. Клочков</i>	288
ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА FISH ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОТ НЕРАВНОМЕРНОГО ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА <i>Е.И. Толстых, А.В. Возилова, М.О. Дегтева, А.В. Аклеев</i>	289
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УСТАНОВКЕ ОР-М НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» <i>И.В. Чешигин, И.И. Акимов, Т.М. Бадретдинов, А.С. Дегтярев, Е.И. Уксусов</i>	290
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ КРАСНОГО КОСТНОГО МОЗГА ИНКОРПОРИРОВАННЫМ ⁹⁰ SR <i>П. А. Шарагин, Е. А. Шишкина, Е. И. Толстых, М.А. Смит, М.О. Дегтева</i>	291
ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ В ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РЕКИ ТЕЧИ <i>Е. А. Шишкина, М.О. Дегтева, В. А. Напье</i>	292
РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В ХОДЕ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ <i>В.А. Шуршаков, О.А. Иванова, К.О. Иноземцев, А.Э. Лишневский, Р.В. Толочек</i>	293
СЕКЦИЯ № 11. РАДИОБИОЛОГИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ	295
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НА ГЕНЕРАЦИЮ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА ПРИ ЛАЗЕРНОМ ПРОБОЕ <i>И.В. Баймлер, А.В. Симакин, С.В. Гудков</i>	296
СИСТЕМА, МИНИМИЗИРУЮЩАЯ ИЗЛУЧЕНИЕ СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА <i>А.Н. Баранов</i>	297
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ <i>А.Л. Васин, Ю.Г. Григорьев, Н.И. Хорсева</i>	298
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ 5G СОТОВОЙ СВЯЗИ И ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ (КОЖА- КРИТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА) <i>З. А. Воронцова, Ю. Г. Григорьев</i>	299

ТУЧНЫЕ КЛЕТКИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ТОЩЕЙ КИШКИ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ	300
<i>З.А. Воронцова, С.Н. Золотарева, Е.Е. Иванова</i>	
ДЕЙСТВИЕ СЛАБОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КЗАРМ «ЗЕЛЕННЫЕ ВОЛНЫ®» НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА СРЕДНЕКИСЛЫХ И НЕЙТРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ	301
<i>В.П.Герасименя, С.В.Захаров</i>	
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ В МОДИФИКАЦИИ ДЕЙСТВИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОЖУ	302
<i>С.В. Гончаров, А.Е. Козлов, М.В. Матвеенков, О.М. Храмченкова</i>	
РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕДЕСТРУКТИВНОЙ ПЛАЗМЫ	303
<i>Горбатов С.А., Иванов И.А., Тихонов А.В., Тихонов В.Н., Шестериков А.Ю.</i>	
ПЛАНЕТАРНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ИСТОЧНИКОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ И ВОЗМОЖНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ (Мнение отечественного радиобиолога)	304
<i>Ю.Г.Григорьев</i>	
5G СТАНДАРТ СОТОВОЙ СВЯЗИ – РЕАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА	305
<i>Ю.Г. Григорьев, Г.В. Козьмин, Е.И. Саранульцева, Ю.С. Романко</i>	
ЭФФЕКТ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 525 НМ НА КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА И ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ МЫШЕЙ <i>IN VIVO</i>	306
<i>А.Р. Дюкина, С.И. Заичкина, О.М. Розанова, С.С. Сорокина, Е.Н. Смирнова, Д.П. Ларюшкин, Н.В. Минаев, В.И. Юсупов, М.М. Поцелуева</i>	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, МОДУЛИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ В ДИАПАЗОНЕ РИТМОВ ЭЭГ	307
<i>С.Н. Лукьянова</i>	
МОДИФИКАЦИЯ ЦИТОТОКСИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТАМИ ИЗ ДВУХ ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ В ОТНОШЕНИИ КЕРАТИНОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА (НАCaT)	308
<i>М.В. Матвеенков</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАРКЕРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УФ-ИНДУЦИРОВАННОГО АПОПТОЗА ЛИМФОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА	309
<i>М.А. Наквасина, В.Г. Артюхов, М.С. Радченко</i>	

УФ-ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СВОБОДНЫХ И ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА МАТРИЦЕ ХИТОЗАНА ПРОТЕАЗ	310
<i>С.М. Панкова, М.Г. Холявка, В.Г. Артюхов</i>	
ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОТОМСТВО ОБЛУЧЕННЫХ ЖИВОТНЫХ	311
<i>В.В.Панфилова, О.И.Колганова, О.Ф.Чибисова</i>	
ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТА СИНЕРГИЗМА КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ УФ СВЕТА И ГИПЕРТЕРМИИ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АГЕНТОВ И ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ МЕЖДУ НИМИ	312
<i>О.В. Переклад, П.С. Купцова, Г.П. Жураковская</i>	
ДЕЙСТВИЕ НЕТЕРМАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ НА ФИТОПАТОГЕНЫ СЕМЯН ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ	313
<i>М.Г. Помясова, Д.И. Петрухина, Е.И. Карпенко, В.А. Харламов</i>	
БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ, СВЯЗАННЫХ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ	314
<i>Е. А. Пряхин, Л. И. Уруцкоев, Е. В. Стяжкина, Н. Д. Пилиа</i>	
ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ	315
<i>Н.Б.Рубцова, С.Ю.Перов, А.Ю.Токарский, О.В.Белая</i>	
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ НАГРУЗКА, СОЗДАВАЕМАЯ ТЕРМИНАЛАМИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ, ВЛИЯЕТ НА РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ	316
<i>Рыбалко С.Ю., Яценко С.Г.</i>	
МАГНИТНЫЕ БУРИ И НИЗКОЧАСТОТНЫЙ МАГНИТНЫЙ ШУМ В АВТОМОБИЛЯХ И ГОРОДСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ	317
<i>Р. М. Саримов, В. Н. Бинги</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РАДИОБИОЛОГИИ	318
<i>А. Ю. Сетейкин, М. В. Ильина, Е. А. Ванина, А. В. Алехнович</i>	
СОСТОЯНИЕ ЯДЕРНОЙ ДНК КЛЕТОК ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ДЕЙСТВИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	319
<i>Е. В. Стяжкина, А. А. Перетыкин, Е. А. Пряхин</i>	
МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ МОРФОМЕТРИИ В ОЦЕНКЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	320
<i>Д.В. Ускалова, К.В. Устенко, А.А. Жалнина, А.В. Дорохов, Е.И. Сарапульцева</i>	

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТОВ ОБЛУЧЕНИЯ В НИЗКОИНТЕНСИВНОМ РАДИОЧАСТОТНОМ ПОЛЕ В УСЛОВИЯХ ГОЛОДАНИЯ НА ПРИМЕРЕ <i>DAPHNIA MAGNA</i> <i>Устенко К.В., Ускалова Д.В., Жалнина А.А., Дорохов А.В., Саранульцева Е.И.</i>	321
ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЭФФЕКТОВ ЭШУ <i>Т.В. Фомина</i>	322
МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ И НАШИ ДЕТИ: СИТУАЦИЯ ТРЕБУЕТ РЕШЕНИЯ <i>Н.И.Хорсева</i>	323
ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ ПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫМИ ТЕЛЕФОНАМИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ <i>Н.И.Хорсева, В.А.Марахова</i>	324
РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА КРЫС-САМЦОВ НА ПОСТНАТАЛЬНОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ И ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА (1745 Гц) <i>Н.В. Чуешова</i>	325
ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ, КРИТЕРИИ ПЕРЕХОДА ОТ НОРМЫ К ПАТОЛОГИИ И НАПРЯЖЕННОСТЬ РЕГУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И НЕТЕПЛОВЫХ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ <i>А.В. Шафиркин, А.Л. Васин</i>	326
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМИ РЧ (2,4 ГГц) ОТ РОУТЕРА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ WI-FI НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И УРОВЕНЬ КЛЕТОЧНОЙ ГИБЕЛИ В ЯИЧНИКАХ <i>D. MELANOCASTER</i> <i>О. В. Шаховская, Е. В. Цуканова, К.М. Фабушева</i>	327
ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭКРАНОВ КОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ВЛИЯЕТ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА <i>С.Г. Яценко, С.Ю. Рыбалко</i>	328
СЕКЦИЯ № 12. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ	329
ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ В ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЯХ <i>С.В. Битаршвили, П.Ю. Волкова, И.А. Пишенин</i>	330
СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ И МЕДИ НА РАСТЕНИЯ <i>И.С. Боднарь, Е.В. Чебан</i>	331
ИЗУЧЕНИЕ АДсорбции, ТРАНСЛОКАЦИИ И ДЕГРАДАЦИИ ГЕРБИЦИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОУГЛЕРОДА <i>Бондарева Л.Г.</i>	332

БИОМОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ <i>А.Я. Болсуновский, Д.В. Дементьев, Е.А. Трофимова, А.В. Зуева</i>	333
ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУНКТА ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА НАСЕЛЕНИЕ <i>Ванина Е.А., Лащенко С.М., Алехнович А.В., Сетейкин А.Ю.</i>	334
ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ РАСТЕНИЙ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ И МЕХАНИЗМЫ <i>С.А. Гераськин</i>	335
РОЛЬ МИГРАЦИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПОПУЛЯЦИЙ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ЗОНЕ ЛОКАЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ <i>Григоркина Е.Б., Ракитин С.Б., Оленев Г.В., Тарасов О.В.</i>	336
СТЕРИЛИЗУЮЩЕЕ И ЛЕТАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА НАСЕКОМЫХ – ВРЕДИТЕЛЕЙ ЗЕРНА <i>Г. А. Закладной</i>	337
ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В БИОТЕ Р. ЕНИСЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА РАДИОАКТИВНЫХ СБРОСОВ <i>Т. А. Зотина, Д. В. Дементьев, Ю. В. Александрова</i>	338
ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТА ^{137}Cs ПО ФЛОЭМЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (<i>Pinus sylvestris</i> L.) <i>А.Д. Карпов, В.В. Калинин, А.Н. Раздаиводин, А.И. Радин, Д.Ю. Ромашкин, А.А. Белов, Горбунов И.Ю.</i>	339
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ, ЗАГРЯЗНЕННЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ <i>В.Н. Клочков, В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков</i>	340
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ РАДИОЛИЗА В ОБЛУЧЕННОЙ ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА <i>Я. М. Курбангалеев, К. Н. Вагин, Н. М. Василевский, Г. И. Рахматуллина, Р. В. Нефедова</i>	341
ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ <i>Д. Н. Липатов, А. И. Щеглов, С. В. Мамихин</i>	342
МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХВОИ ВТОРОГО ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>Е.С. Макаренко</i>	343

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ И ТЕМНО-СЕРОЙ ПОЧВАХ <i>Д.В. Манахов, Д.Н. Липатов, Г.И. Агапкина</i>	344
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПОЧВАХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА <i>Михайловская Л.Н., Позолотина В.Н.</i>	345
РАСЧЕТ ДОЗ ДЛЯ ЭМБРИОНОВ ЧАЙКИ СЕРЕБРИСТОЙ, ГНЕЗДЯЩЕЙСЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОМ ВОДОЕМЕ В-11 ПО «МАЯК» <i>Н.И. Могильникова, Е.А. Шишкина, Ю.Г. Ламехов</i>	346
ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И СВИНЦА НА МИКРОФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО <i>А. А. Празян, С. В. Битариевили, Е.С. Макаренко</i>	347
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН <i>ARABIDOPSIS</i> <i>THALIANA</i> НА ДИНАМИКУ ПРОРАСТАНИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ <i>М.Ю. Подобед, Д.Д. Бабина, Е.В. Бондаренко, М.С. Подлуцкий, А.С. Миценык, П.Ю. Волкова</i>	348
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СОСНЯКОВ ЮГО-ЗАПАДА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ <i>А. Н. Раздайков, В. В. Калнин, В. М. Сидоренков, Д. О. Астапов, А. И. Радин, Д. Ю. Ромашкин, А. А. Белов, А. Д. Карпов, И. Ю. Горбунов, Р. К. Поляков</i>	349
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВСЛЕДСТВИЕ ДОБЫЧИ РАДИЯ <i>Н.Г.Рачкова, Л.М.Шапошникова</i>	350
НЕПРЯМЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА БИОТУ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ <i>Т.Г. Сазыкина</i>	351
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ <i>Н.И. Санжарова</i>	352
СРАВНЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В АГРОСЕРОЙ И СЕРОЙ ПОЧВАХ ТУЛЬСКИХ ЗАСЕК <i>А.Р. Тамразова, К.М. Магомедова, Д.В. Манахов</i>	353
ИССЛЕДОВАНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ <i>IN SITU</i> АДАПТАЦИОННЫХ РЕАКЦИЙ У РЫБ НА РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ <i>Г. А. Тряпицына, Е. А. Пряхин, М. Сневе, Х-К. Тейен, А. В. Аклеев</i>	354

РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ ДОЗ НА КОСТНУЮ ТКАНЬ И ГОЛОВНУЮ ЧАСТЬ ПОЧКИ ДЛЯ ПЛОТВЫ, ОБИТАЮЩЕЙ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДОЕМАХ ПО «МАЯК»	355
<i>М. В. Тюхай, Е.А. Шишкина, А. В. Аклеев</i>	
ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ^{210}Pb И ^{226}Ra В СЕРОГУМУСОВОМ ГОРИЗОНТЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ	356
<i>Т.Ю. Ушакова, Д.В. Манахов</i>	
ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА <i>FRUTICICOLA FRUTICUM</i>	357
<i>Е.Е. Черкасова, Г.В. Лаврентьева, Л.А. Трофимова, Б.И. Сынзыныс</i>	
ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ НА РОСТ ПРОРОСТКОВ	358
<i>Н.В. Шамаль</i>	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОДВИЖНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ УРАНОВОГО РЯДА В КОМПОНЕНТАХ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСНОЙ ЗОНЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВСЛЕДСТВИЕ ДОБЫЧИ РАДИЯ	359
<i>Шапошникова Л.М., Рачкова Н.Г.</i>	
СЕКЦИЯ № 13. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ	361
ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В ГРАНИЦАХ КАНЬОНА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИСТАНЦИОННОЙ ТЕРАПИИ НА БАЗЕ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	362
<i>А.И. Адарова, А.Е. Чернуха, А.Н. Соловьев</i>	
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ У ПАЦИЕНТОВ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ	363
<i>Н. А. Аكوпова, А.В. Алехнович, Ю. В. Дружинина, Е. П. Ермолина</i>	
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИАЦИОННОГО РИСКА ПО ДАННЫМ, СОДЕРЖАЩИМСЯ В РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПАСПОРТАХ ТЕРРИТОРИЙ	364
<i>Руслан Р. Ахматдинов</i>	
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ТРИТИЯ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА	365
<i>В.Г. Барчуков, Д.И. Кабанов, Н.А. Еремина, Л.И. Кузнецова, С.В. Березин</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРИТИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ	366
<i>В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков</i>	

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕШТАУГОРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	367
<i>Бельских Ю.С., Н.К. Шандала, А.В. Титов, Д.В. Исаев</i>	
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ РИСКИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ РЫБЫ И ВОДЫ, СОДЕРЖАЩИХ ТРИТИЙ	368
<i>Л.Г. Бондарева</i>	
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ РАБОТНИКОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ» С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА	369
<i>Ю.Н. Брагин, А.Г. Сивенков, А.Г. Цовьянов, В.П. Крючков</i>	
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ^{131}I РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА НАСЕЛЕНИЕ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ АО «НИФХИ им. Л.Я. КАРПОВА»	370
<i>А. А. Бурякова, А. И. Крышев, М. Н. Каткова</i>	
СРАВНЕНИЕ УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ВЫСОКОДОЗОВЫХ РЕНТГЕНОХИРУРГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	371
<i>З.Я. Вагидова</i>	
К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ РЕНТГЕНОХИРУРГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	372
<i>З.Я. Вагидова</i>	
ИНФОРМАЦИЯ О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПАСПОРТАХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 2018 ГОД	373
<i>Васильева О.С., Библин А.М.</i>	
ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ Н-3 И С-14 В АТМОСФЕРУ С ВЫБРОСАМИ РОССИЙСКИХ АЭС	374
<i>М. Е. Васянович, А. А. Екидин, А. И. Крышев, И. А. Капустин, Е. Л. Мурашова</i>	
ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА БЕЛАРУСИ, РАБОТАЮЩЕГО С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	375
<i>Ю.В. Висенберг, Н.Г.Власова</i>	
ОЦЕНКА СРЕДНИХ ГОДОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ ДЛЯ ЦЕЛИ ЗОНИРОВАНИЯ	376
<i>Н.Г.Власова, Ю.В. Висенберг</i>	
РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ОБОСНОВАНИЯ НАЗНАЧЕНИЯ РЕНТГЕНОРАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ	377
<i>А.В.Водоватов, Б.С.Ногин, Ю.В.Дружинина, С.А.Рыжов</i>	

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ И СОЦИАЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИИ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ) <i>Ю. В. Грабский, О. Н. Бредникова</i>	378
ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК, ГЕНЕРИРУЮЩИХ ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ <i>П. П. Ганцовский, А. Ю. Комаров</i>	379
СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРИМЕРЕ ПАО «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД» <i>Е.О. Грановская, А.М. Полещук, О.А. Дорохова</i>	380
НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ, СВЯЗАННЫЕ С АВАРИЕЙ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ МИНОБОРОНЫ РОССИИ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ <i>А. В. Громов</i>	381
АНАЛИЗ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ, СВЯЗАННЫХ С ВЫЯВЛЕНИЕМ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЗАГОТОВКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОЛОМА <i>А. В. Громов, О. С. Васильева</i>	382
РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ АКТИВНОСТИ ПРОБЫ, ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ В СООТВЕТСТВИИ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ЛАБОРАТОРИИ <i>Е. А. Дашанова, А.М. Полещук, В.В. Шлыгин</i>	383
СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К УСТАНОВЛЕНИЮ РЕФЕРЕНТНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ <i>П.С. Дружинина, О.А. Историк, Л.А. Еремина, А.В. Водоватов, И.Г. Шацкий</i>	384
ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КАК ЧАСТЬ ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ <i>П.С. Дружинина, Л.А. Чипига, А.В. Водоватов</i>	385
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ТРИТИЯ В ГРУНТЕ, РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ <i>Н.А.Еремина</i>	386
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТРЕБНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ПО ВОПРОСАМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ <i>С.А. Зеленцова, Г.В. Архангельская, Е.В. Храмов, Р.Р. Ахматдинов</i>	387

РАДИАЦИОННЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ СЗЦ «СЕВРАО» И ДВЦ «ДАЛЬРАО» <i>Ю.Н. Зозуль, С.М. Киселев, Т.Н. Лащеннова, Т.И. Гимадова, В.В. Шлыгин</i>	388
ДОСТИЖЕНИЕ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ РАО И ПРИРОДНОГО УРАНОВОГО СЫРЬЯ <i>В. К. Иванов, Е. О. Адамов, А. В. Лопаткин</i>	389
РАДИАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ <i>М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, Н.В. Салазкина, В.В. Ступина</i>	390
ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ПОТЕНЦИАЛЬНО РАДОНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ <i>Л.Э. Карл</i>	391
ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКЕ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ <i>С.М. Киселев, Т.Н. Лащеннова, В.В. Шлыгин, Д.В. Исаев, С.В. Ахромеев, В.Г. Старинский, О.Б. Шаикова</i>	392
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ МАССИВОВ ДАННЫХ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАДОНОВЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ <i>Д.В. Кононенко</i>	393
ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЭТ-ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ^{18}F <i>Коренков И. П., Охрименко С. Е., Захарова А. В.</i>	394
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ <i>Т.А. Кормановская, Н.А. Королева, Д.В. Кононенко</i>	395
НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ХИМИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ ^{238}U ПРИ НОРМИРОВАНИИ ЕГО ПОСТУПЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ <i>А. И. Крышев, Т.Г. Сазыкина, Н.Н. Павлова</i>	396
СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ <i>В.В. Куццов, А.М. Лягинская, Е.Г. Метляев</i>	397
ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ <i>Е.Р. Ладанова, Л.А. Чипига</i>	398

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Т.Н. Лащенкова, И.П. Коренков, А.Б. Майзик</i>	399
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ ДЛЯ СКВАЖИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ОСТЕКЛОВАННЫХ ВЫСОКОРАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ <i>А.Н. Малахова, В.И. Мальковский</i>	400
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ТЕРРИТОРИИ ПУНКТА ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ГУБЕ АНДРЕЕВА <i>Оськина К.Ю., Шандала Н.К., Филонова А.А., Семенова М.П.</i>	401
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ <i>Охрименко С. Е., Алехнович А. В., Аконова Н. А., Ермолина Е. П., Дружинина Ю. В., Бакулина Л. А.</i>	402
ДИНАМИКА ВКЛАДА ГРИБОВ В ДОЗУ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС <i>А. В. Панов</i>	403
СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ОРГАННЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ^{223}Ra -ДИХЛОРИДА ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ мКРРПЖ <i>А.Е. Петрова, Л.А. Чипига, А.В. Водоватов, А.А. Станжевский</i>	404
МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА <i>Н.Л. Проскуракова</i>	405
ХАРАКТЕРИСТИКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ – ПРИКЛАДНОЙ ПОДХОД <i>Л.В. Репин, Рустам Р. Ахматдинов, А.М. Библин, В.С. Репин</i>	406
О ПРЕДЛОЖЕНИЯХ ПО ВНЕСЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ В ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН "О РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ" <i>И.К. Романович, А.Н. Барковский, А.В. Водоватов, Т.А. Кормановская, В.С. Репин</i>	407
РЕАЛИЗАЦИЯ «РЕГУЛЯТОРНОЙ ГИЛЬОТИНЫ» В САНИТАРНЫХ НОРМАХ И ПРАВИЛАХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ <i>И.К. Романович, А.Н. Барковский, А.В. Водоватов, Т.А. Кормановская, В.С. Репин</i>	408
АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫСОКОГО СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ ВОСТОЧНЫХ РАЙОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ <i>И.К. Романович, Т.А. Кормановская, В.Ю. Коновалов, Л.В. Бондарь</i>	409

ОБСЛЕДОВАНИЕ УЧАСТКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ, ОТВОДИМОЙ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО КОМПЛЕКСА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ И СЖИЖЕНИЮ ГАЗА В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ <i>К. А. Сапрыкин, А.В. Громов, А.С. Сампсонов, З. Я. Вагидова, В. С. Загузов, Л.А. Еремина, Е.А. Пономаренко</i>	410
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ, ВЫРАЩЕННОЙ В ПРЕДЕЛАХ 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ БУДУЩЕЙ БАЛТИЙСКОЙ АЭС <i>Саруханов А.В., Крыленкин Д.В., Сидорова Е.В., Кузнецов В.К., Курбаков Д.Н.</i>	411
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАДИОАКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ <i>Старинская Р.А., Коренков И.П.</i>	412
РАДОНОВЫЙ МОНИТОРИНГ ДЕТСКИХ САДОВ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ <i>В.Г. Старинский, Ю.С. Бельских, В.В. Шлыгин, С.М. Киселев</i>	413
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ТРИТИЯ НА АЭС С ВВЭР <i>П. П. Сурин</i>	414
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ МЕТОДИКАМИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ <i>Н.В. Титов, В.А. Некрасов</i>	415
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БИООБЪЕКТОВ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ <i>А.В. Титов, Н.К. Шандала, В.А. Серегин</i>	416
УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТОВ СИНЕРГИЗМА ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ ГИПЕРТЕРМИИ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С СОЛЯМИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ <i>М.С. Толкаева, В.Г. Петин</i>	417
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ БЕЛОЯРСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ <i>А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова, Л.Н. Михайловская</i>	418
РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИХТИОФАУНЫ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА <i>В.Н. Трапезникова, А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, А.П. Платаев</i>	419

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕБУЕТ КОРРЕКТНЫХ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ <i>А.Р. Туков, И.Л. Шафранский, О.Н. Прохорова</i>	420
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ, ОБРАБОТАННОЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, МЕТОДОМ ЭПР-СПЕКТРОМЕТРИИ <i>О.В. Тхорик, Е.И. Карпенко</i>	421
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЭРОЗОЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ <i>А.Г. Цовьянов, С.М. Шинкарев, И.П. Коренков, Н.К. Шандала, А.С. Самойлов</i>	422
РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И СУДОРЕМОНТНЫХ ЗАВОДОВ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА <i>Н. К. Шандала, Д. В. Исаев, А. В. Титов, В. А. Серегин, В. В. Шлыгин, Ю. С. Бельских, В. Г. Старинский, Р. А. Старинская</i>	423
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ В СТРАНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ <i>Н.К. Шандала, В.А. Серегин, Ю.В. Гущина, А.А. Филонова, Р.А. Старинская, Ю.С. Бельских, И.А. Терехова</i>	424
ТИПОВЫЕ ПРИЧИНЫ РАДИАЦИОННЫХ ИНЦИДЕНТОВ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ <i>И.Г. Шацкий</i>	425
СЕКЦИЯ № 14. РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	427
РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ В ЧЕЛЯБИНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ <i>А.В.Аклеев, Г.А. Тряпицына, Е.И. Пастухова</i>	428
ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЕ <i>Т.Б. Балтрукова</i>	429
ПРЕПОДАВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИИ СТУДЕНТАМ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ И.И. МЕЧНИКОВА <i>А. С. Богачева, Е. В. Полозова</i>	430
ВОСПРИЯТИЕ АВАРИИ НА АЭС «ФУКУСИМА-1» НАСЕЛЕНИЕМ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ <i>Библин А.М., Давыдов А.А.</i>	431

ВОПРОСЫ РАДИОБИОЛОГИИ И МЕДИЦИНСКОЙ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ	432
<i>Т.Н. Власенко, О.З. Мустаев, М.Р. Булатов, А.А. Сущенко, В.В. Колбасов</i>	
РАДИОБИОЛОГИЯ И РАДИОЭКОЛОГИЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА В ПРИМОРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ	433
<i>В. В. Воробьева</i>	
АНАЛИЗ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ В РОССИЙСКОМ ИНДЕКСЕ НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ И SCOPUS ПО МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС	434
<i>В.И. Евдокимов</i>	
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ В МЕДИЦИНСКОМ ВУЗЕ РАДИОБИОЛОГИИ И ВОПРОСОВ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ УХУДШЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ	435
<i>И. А. Жмакин, К. Б. Баканов</i>	
АСПЕКТЫ РАДИОБИОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА ПРИ СЕЧЕНОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	436
<i>Л.А. Кушнир</i>	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАДИОЭКОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	437
<i>С.В.Мамихин</i>	
ОРГАНИЗАЦИЯ ДОДИПЛОМНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ ВУЗОВ ПО ВОПРОСАМ РАДИОБИОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕДИЦИНА КАТАСТРОФ»	438
<i>А.В. Старков, Е.В. Давыдова, Е.В. Полозова, А.В. Старовойт, А.Н. Гребенюк</i>	
ВОПРОСЫ РАДИОБИОЛОГИИ И РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ В ПОДГОТОВКЕ КЛИНИЧЕСКИХ ОРДИНАТОРОВ ПЕРВОГО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА И.П. ПАВЛОВА	439
<i>А.В. Старков, Е.В. Давыдова, А.В. Старовойт, Е.В. Полозова, В.В. Гедерим, К.Н. Гончаров</i>	
ПРЕПОДАВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	440
<i>О. Ю. Стрелова, Е. Н. Степанова, А. Н. Гребенюк</i>	

ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОБИОЛОГИИ В СИСТЕМЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ <i>А. А. Тимошевский, Л.А. Кушнир</i>	441
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАВЫКОВ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В СЛУЧАЕ АВАРИЙ С РАДИАЦИОННЫМ ФАКТОРОМ <i>Г.П. Фролов, Е.И. Клименко, Е.Г. Метляев, И.К. Теснов</i>	442
ОБУЧЕНИЕ ВОПРОСАМ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЮРИДИЧЕСКИХ И МЕДИЦИНСКИХ ВУЗАХ <i>И.В. Холиков</i>	443
ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСОВ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ <i>В.В.Шилов, В.В.Конев, В.А. Колобянин, А.Д.Чернобровин</i>	444

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Уважаемые коллеги,

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на VIII Съезд по радиационным исследованиям, в которых отражены проблемы радиобиологии, радиоз экологии и радиационной безопасности. В совокупности тезисы докладов отражают как фундаментальные вопросы, охватывающие эти проблемы, так и потенциальные ориентиры практической реализации результатов исследований.

Съезд - это научный форум членов Российского радиобиологического общества при РАН, то есть ученых нашей страны, занимающихся исследованиями во всех областях по выше указанным проблемам. Программа съезда включает пленарные заседания с лекциями ведущих ученых и заседания 14 секций с представлением устных и стендовых докладов по различным направлениям. Программа съезда включает более 370 докладов, но если учесть количество соавторов этих докладов по всем направлениям тематики, можно увидеть, что в получение результатов исследований, представленных в докладах, были вовлечены более 1000 исполнителей. Это указывает, что к радиационным исследованиям у нас сохраняется значительный интерес, они являются актуальными в нашей стране. Поскольку радиационные исследования - это междисциплинарная область наук, охватывающая физику, химию, биологию, экологию и медицину для изучения воздействия разного рода излучений на человека и окружающую среду, они должны иметь соответствующую поддержку и развитие.

Как можно было ожидать, больше всего докладов на наш съезд представили Российские научно-практические центры ФМБА России (более 80 докладов), где главенствующая роль принадлежит сотрудникам ГНЦ РФ -Федерального медицинского биофизического центра имени А.И. Бурназяна. Примечательно, что в отличие от предыдущих наших съездов по радиационным исследованиям, резко выросло количество совместных докладов, представленных от сотрудников институтов физико-технического профиля (ОИЯИ-Дубна, Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" и другие) и институтов биологического профиля. Следует отметить также, что повышенная активность в желании участвовать в работе VIII Съезда, которая отсутствовала в программах предыдущих съездов, проявлена коллегами из Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, из Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко. Как всегда, традиционно много докладов представлено сотрудниками Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф.Цыба, других учреждений Минздрава и Минобороны РФ, РАН, МГУ и других университетов РФ. В работе съезда проявили желание участвовать гости из Белоруссии (15 тезисов) и из Азербайджана (5 тезисов).

Как мы знаем, съезд или иное научное собрание - это не только место, где можно слушать и узнавать новое, но и платформа для личного обмена информацией и общения между коллегами и единомышленниками. К сожалению, в условиях пандемии коронавируса Covid-19 нам пришлось перенести заседания съезда на новый срок. Если кому-то не удалось участвовать в работе съезда, то, как вы можете заметить, каждый представленный тезис доклада содержит адрес электронной почты авторов и дает возможность дистанционного общения для того, чтобы найти наличие общего интереса и понимания по проведению совместных исследований, подготовке заявок на получение финансовой поддержки от государственных фондов или частных организаций.

Время интенсивного развития радиационных исследований, как это было в 70-80 годы, прошло. В настоящее время для проведения работ на высоком методическом

уровне необходимы дополнительная финансовая поддержка, более активная кооперация и взаимодействие между коллегами из разных лабораторий и институтов. Приборное и методическое обеспечение сегодня стало сложным и дорогим, поэтому необходимо подавать заявки на гранты для проведения совместных исследований, это касается как использования источников излучений, так и методов исследования с высокотехнологическим лабораторным оборудованием. Снижение финансирования радиобиологических исследований в настоящее время имеет место во всех странах, где традиционно развивались такие исследования (см. Choa K., Imaoka T. et al. *Int.J.Radiat. Biol.* 2019, 95,7, 816–840). На мой взгляд, нам следует также способствовать сохранению учебных программ по радиобиологии и радиоэкологии в высших учебных заведениях. Разумеется, в каждом высшем учебном заведении должна быть программа, ориентированная на специалистов, которых они готовят, и руководство соответствующей кафедры определяет рамки этой программы. Однако, учебные программы по радиационной биологии или по радиоэкологии существуют не во всех высших учебных заведениях, готовящих специалистов – химиков, биологов, медиков и других близких областей. Поэтому в научно-исследовательские лаборатории часто приходят выпускники вузов, мало знакомые с действием радиации на живые организмы. В книжных фондах интернета представлено множество хороших книг по различным направлениям радиобиологии и радиоэкологии, авторами большинства этих книг являются наши ведущие ученые. Но к сожалению студенты, магистранты и аспиранты не могут их читать онлайн, поскольку ее можно «скачать» только после оплаты стоимости книги. Поэтому имеется повышенная потребность в книге, содержание которой охватило бы все направления радиобиологии и радиоэкологии, представленные на нашем VIII съезде. Это должно быть базовое учебное пособие современного уровня, бесплатно доступное пользователям интернета. Полагаю, что этот вопрос должен обсудить и решить Научный совет по РАН по радиобиологии.

Будем надеяться, что ознакомление с докладами, представленными на VIII Съезд, даст нам очередной стимул для дальнейшей активной работы в области радиационных исследований. Успеха всем!

Председатель Оргкомитета и Программного комитета,
Президент Радиобиологического общества РАН
профессор, д.б.н. А.И. Газиев

ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ В РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е. А. Красавин

Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Более полувека тяжелые заряженные частицы привлекают внимание специалистов как эффективный инструмент при решении многих актуальных вопросов радиационной биологии. На необходимость и плодотворность применения ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками в изучении механизмов генетического действия радиации указывали классики радиобиологии Н.В. Тимофеев-Ресовский, Д.Е. Ли, Л.Г. Циммер. Н.В. Тимофеев-Ресовский отмечал: «Опыты с излучениями разных мощностей дозы и разной жесткости позволили в значительной мере конкретизировать то физическое явление, которое служит физическим механизмом, вызывающим мутации....». Следует заметить, что результаты исследований биологических эффектов, вызываемых ионизирующими излучениями с разными физическими характеристиками, использовались классиками радиационной биологии при обосновании фундаментального методологического принципа радиобиологии - «принципа попадания».

Изучение особенностей биологического действия заряженных частиц высоких энергий в нашей стране стало возможным после запуска в Дубне в 1949 г. мощного ускорителя, генерирующего пучки протонов с энергией до 660 МэВ. В конце 50-х и начале 60-х годов в СССР эти пучки были использованы в радиобиологических экспериментах при решении проблем космической радиобиологии. Исследования биологического действия излучений широкого диапазона линейных передач энергии (ЛПЭ) специалисты-радиобиологи получили в 50-е годы прошлого века после введения в эксплуатацию ускорителей тяжёлых ионов в США (Калифорнийский университет) и в СССР (ОИЯИ, Дубна). Эти машины ускоряли ядра различных элементов – от дейтронов до ядер аргона с энергиями, равными 10 МэВ/нуклон. Такие частицы имели ограниченный пробег в веществе биологических объектов (до 200-300 мкм), а величины из ЛПЭ достигали в этом случае 10^3 кэВ/мкм. Такие характеристики ускоряемых многозарядных ионов позволили радиобиологам проводить эксперименты по облучению монослоёв различных типов клеток: микроорганизмов – вирусов, бактерий, гаплоидных и диплоидных дрожжей, а позднее и клеток млекопитающих в культуре. Поскольку диапазон ЛПЭ ускоряемых частиц был крайне широк, у специалистов появился мощный инструмент для решения ряда фундаментальных вопросов радиобиологии, генетики, молекулярной биологии. И впервые появилась возможность детального изучения механизмов, определяющих различия в биологической эффективности излучений разного качества. Иными словами – возможность приступить к решению проблемы относительной биологической эффективности (ОБЭ) разных типов излучений.

Было установлено, что величина ОБЭ частиц определяется не только физическими свойствами действующих излучений, но и способностью клеток восстанавливаться от полученных повреждений. Эффективность восстановительных процессов в клетках, как было показано, зависит от величины ЛПЭ частиц. Выяснилось, что уменьшение репарационной способности клеток обусловлено формированием повреждений ДНК кластерного типа при действии тяжёлых ионов. С использованием ускорителей ОИЯИ были выполнены базовые исследования по проблеме: установлены дозовые зависимости частоты образования двунитевых разрывов (ДР) ДНК в клетках человека и млекопитающих при действии излучений с разной величиной ЛПЭ. Установлена высокая эффективность их формирования при

действии ускоренных тяжёлых ионов по сравнению с γ -облучением. Было показано, что при действии на клетки тяжёлых ионов наблюдается высокая скорость достижения максимального количества ДНК-фокусов и замедленная кинетика их элиминации по сравнению с γ -квантами. На основе дифференцированного анализа отдельных кластерных повреждений ДНК в трехмерных изображениях, реконструирующих весь объем клеточного ядра, проведен детальный анализ структуры сложно организованных кластеров повреждений в треках ускоренных ионов и исследованы различия в их морфологии. Показано замедление кинетики элиминации радиационно-индуцированных ДР в клетках при действии тяжёлых ионов по сравнению с γ -облучением.

Последние десятилетия выдвинули ряд важных практических задач, решение которых требует детального изучения механизмов биологического действия тяжелых ионов высоких энергий. Одна из них связана с проблемами космической радиобиологии. Увеличение дальности и длительности космических полётов выдвинули на первый план проблему оценки опасности биологического действия высокоэнергетичных тяжелых ионов и разработку мер радиационной безопасности экипажей кораблей. В ходе реализации межпланетных пилотируемых полётов, прежде всего, к Марсу, экипажи будут подвергаться воздействию тяжелых ядер высоких энергий, исходящих из глубин Галактики. Как известно, в спектре Галактического космического излучения (ГКИ) преобладают ядра группы углерода и железа. Энергетический спектр ядер ГКИ весьма широк и такие частицы с высокой эффективностью могут индуцировать мутации, инициировать развитие онкологических заболеваний, вызывать нарушения высших интегративных механизмов в центральной нервной системе организма космонавтов. Решение этих задач требует привлечение в радиобиологических экспериментов тяжёлых ионов высоких энергий и специальных ускорителей.

Использование пучков заряженных частиц в клинике лучевой терапии рака (и, прежде всего, протонов) ставит перед радиобиологами задачу детального изучения их действия на опухолевые ткани. По ряду причин использование протонов в терапии онкологических заболеваний является более предпочтительным по сравнению с фотонным облучением (гамма- и рентгеновским излучением, пучками ускоренных электронов). Главной причиной исключительного интереса специалистов к применению адронных пучков в онкологической практике являются различия в распределении поглощённых доз облучения в теле пациентов при использовании излучений электромагнитной и корпускулярной природы. Прежде всего, это связано с особенностями распределения поглощённой дозы от глубины проникновения заряженных частиц в облучаемую область. Максимальная энергия при прохождении частиц через вещество ткани передаётся в конце их пробега (в пике Брэгга) и дозовое распределение характеризуются высокой конформностью по отношению к облучаемой мишени. В этом случае при облучении глубоко залегающих опухолей достигается меньший уровень облучения нормальных, прилегающих к опухоли тканей, а также критических органов. Поскольку ширина пика Брэгга моноэнергетичных протонов не велика, применяются способы увеличения ширины пика путём модификация спектра пучка от моноэнергетического к непрерывному. Результирующее дозовое распределение вследствие этого представляет собой суперпозицию глубинных распределений дозы для протонов разных энергий. Величина ЛПЭ на разных участках кривой Брэгга неодинакова. На входе частиц в вещество облучаемой области их ЛПЭ имеет малые значения и резко возрастает к концу пробега частиц в области пика Брэгга. Ещё большие различия в уровне поглощённых доз на разных участках кривой Брэгга присущи ускоренным ионам углерода. Различия для частиц с энергией 250-300

МэВ/нуклон в этом случае достигают значений, равных 4 и более. С учетом этого в ряде стран (Япония, Германия, КНР) созданы специализированные центры для углеродной терапии на базе ускорительных установок различных типов. Использование ионов углерода в терапии рака является многообещающим, особенно в терапии радиационно-устойчивых типов опухолей. Следует заметить, что стоимость таких ускорителей крайне высока по сравнению с протонными машинами, вследствие чего центры углеродной терапии до последнего времени единичны и стоимость курсов лечения пациентов также исключительно высокая.

Таким образом, изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что ускоренные заряженные частицы являются эффективным инструментом при решении широкого круга фундаментальных и практических задач, стоящих перед специалистами-радиобиологами.

Председатель Научного совета РАН по радиобиологии
чл.-корр.РАН, профессор, д.б.н. Е.А.Красавин

СЕКЦИЯ № 1
МОЛЕКУЛЯРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ.
РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЯДЕРНОЙ И МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК, ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, СВЯЗАННЫХ С ФУНКЦИЯМИ МИТОХОНДРИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС, ОБЛУЧЕННЫХ РЕНТГЕНОВСКИМИ ЛУЧАМИ

С.А. Абдуллаев, Н.Е. Губина, А.И. Газиев

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
saabdullaev@gmail.com

Исследование молекулярных нарушений в различных областях головного мозга после воздействия ионизирующего излучения (ИИ) представляет интерес для поиска путей снижения когнитивных нарушений, канцерогенеза и других патологий.

Цель. Анализировали повреждения и репарацию ядерной ДНК (ядНК), изменения количества копий митохондриальной ДНК (мтДНК) и уровни ее гетероплазмы, а также экспрессию генов, участвующих в регуляции митохондриального биогенеза и динамики митохондрий, в клетках головного мозга крыс после их облучения рентгеновскими лучами.

Материалы и методы. Самцов крыс линии Wistar облучали в дозе 5 Гр, анализы проводили в гиппокампе, коре и мозжечке. Повреждение и восстановление яДНК и мтДНК анализировали с помощью метода количественной ПЦР длинных последовательностей. Уровень гетероплазмы мтДНК оценивали методом расщепления гетеродуплексов продуктов ПЦР мтДНК Surveyor нуклеазой. Количества копий мтДНК и уровни экспрессии ряда генов определяли методом ПЦР в реальном времени.

Результаты. Показано, что репарация повреждений яДНК в разных областях головного мозга происходит медленно в течение 24 часов; в гиппокампе репарация яДНК происходит гораздо медленнее, чем в остальных регионах мозга. Количество копий мтДНК в трех областях мозга крыс увеличивается с одновременным повышением уровня их гетероплазмы. Однако через 24 часа после облучения количество мутантных копий мтДНК в гиппокампе значительно выше, чем в клетках коры и мозжечка. В регионах мозга облученных крыс происходит снижение экспрессии генов (ND2, CytB, ATP5O), участвующих в синтезе АТФ, и повышение транскриптов генов, регулирующих биогенез митохондрий (TFAM, PGC-1 α). С другой стороны, анализ генов, контролирующих динамику митохондрий (MFN1, FIS1), показал их резкое снижение только в гиппокампе.

Выводы. Можно полагать, что повышенный уровень гетероплазмы мтДНК приводит к нарушению работы комплексов окислительного фосфорилирования и генерации повышенного уровня активных форм кислорода и азота в митохондриях, вызывающих дополнительные повреждения яДНК. Снижение экспрессии ядерных генов, регулирующих динамику митохондрий, в свою очередь, способствует снижению элиминации дисфункциональных органелл из тканей мозга. И больше всего это снижение отражается на структурно-функциональных характеристиках гиппокампа облученных крыс. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что активность репарации яДНК, синтез мтДНК и уровень ее мутантных копий, модуляция экспрессии генов, поддерживающих митохондрии, различаются в гиппокампе, коре и мозжечке облученных крыс. Эти изменения могут привести к митохондриальной дисфункции с повышением окислительного стресса в регионах головного мозга, и могут быть сопряжены с развитием отдаленных последствий воздействия ИИ. Результаты исследований позволяют полагать, что выбор митохондриально-направленных антиоксидантов может способствовать предотвращению развития отдаленных последствий радиационного повреждения головного мозга.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-29-01007 офи_м.

ИЗУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТУ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В КЛЕТКАХ КОРНЯ *ALLIUM CERA L.*

¹А. Е. Алдибекова, ^{1,2} Е. В. Стяжкина, ¹Е.А. Пряхин

¹ФГБУН УНПЦ РМ, ²ФГБОУ ВО ЧелГУ, г. Челябинск, Россия

e-mail: albinaaes@gmail.com

Цель работы: изучение комбинированного действия импульсного магнитного поля (ИМП) и гамма облучения на частоту клеток с хромосомными абберациями в клетках корня проростка семян лука с помощью *Allium test*.

Объектом исследования служили проростки семян лука репчатого (*Allium cera L.*) сорта «Забияка» (ООО «Группа компаний «Гавриш», партия 25753). В эксперименте использовали проростки длиной от 2-3 см (3 сутки после увлажнения).

Использовали следующие схемы экспериментов для оценки комбинированного действия γ -излучения и ИМП. Для оценки влияния ИМП на репарацию радиационно-индуцированных повреждений ДНК семена подвергали воздействию ИМП в течение 60 сек за 15 мин. до или через 15 мин. после γ -облучения в дозах 0,5 Гр и 3 Гр. Для оценки возможности индукции адаптивного ответа семена подвергали воздействию ИМП в течение 60 сек за 5 ч до или через 5 ч после γ -облучения в дозах 0,5 Гр и 3 Гр (в соответствии со схемой адаптивного ответа). Через 24 ч после экспозиции корни проростков фиксировали, окрашивали ацетоорсеином по стандартной методике. Подсчитывали частоту клеток с абберациями в анателофазе (ана-телофазный метод).

В результате исследования было выявлено, что частота клеток с абберациями в ана-телофазе в контрольной группе составила $2,8 \pm 0,7$ %. Однократное воздействие γ -облучение в дозе 0,5 Гр приводило к статистически значимому увеличению частоты клеток с абберациями в анателофазе в 3 раза ($9,6 \pm 1,3$ %), при облучении проростков семян дозе облучения 3 Гр частота клеток с хромосомными абберациями была в 10 раз выше ($33,1 \pm 2,1$ %). Воздействие ИМП в течение 60 сек приводило к статистически значимому увеличению данного показателя в 2,4 раза ($6,6 \pm 1,1$ %).

При анализе эффектов комбинированного действия было выявлено, что ИМП приводит к снижению эффекта γ -облучения в дозе 3 Гр при воздействии за 15 мин до радиационного воздействия ($26,1 \pm 2,0$ %) и при воздействии через 15 после облучения ($19,1 \pm 1,7$ %). Комбинированное воздействие ИМП с γ -облучением в дозе 0,5 Гр при экспозиции ИМП за 15 мин и через 15 мин после облучения приводило к одинаковому эффекту: частота клеток с абберациями была равна $8,5 \pm 1,2$ % и $8,0 \pm 1,2$ %, что не отличалось от эффекта одного γ -излучения или ИМП, но было статистически значимо меньше эффекта при аддитивном взаимодействии факторов.

Похожие эффекты были выявлены в экспериментах, где воздействие ИМП проводили за 5 ч до или через 5 ч после γ -облучения. Частота клеток с абберациями была статистически значимо меньше, чем воздействие одного γ -облучения в группах, где проростки облучали за 5 ч до или через 5 ч после γ -облучения в дозе 3 Гр ($14,2 \pm 1,5$ % и $20,1 \pm 2,0$ % соответственно). Комбинированное воздействие ИМП с γ -облучением в дозе 0,5 Гр при экспозиции ИМП за 5 ч и через 5 ч после облучения приводило к одинаковому эффекту: частота клеток с абберациями составляла $8,0 \pm 1,2$ % и $10,5 \pm 1,4$ %, что не отличалось от эффекта одного гамма-излучения или ИМП, но было статистически значимо меньше эффекта при аддитивном взаимодействии факторов.

Полученные результаты позволяют полагать, что ИМП приводит к повышению эффективности репарации радиационно-индуцированных повреждений ДНК в клетках меристемы корня лука. ИМП индуцирует адаптивный эффект, аналогичный действию малых доз ионизирующего излучения.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТУ ДОМИНАНТНЫХ ЛЕТАЛЬНЫХ МУТАЦИЙ У *DROSOPHILA MELANOGASTER* В РЯДУ ПОКОЛЕНИЙ

В.В.Баширова, Е.И. Пастухова

ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», г. Челябинск, Россия;
bik04ka_b@mail.ru

Трансгенерационными эффектами действия ионизирующего излучения называют эффекты, которые возникают у необлучённых потомков облучённых родителей и сохраняются при этом в ряду поколений.

Целью исследования являлось изучение трансгенерационных эффектов действия γ -излучения на *Drosophila melanogaster* по показателю частоты доминантных летальных мутаций до поколения F₁₂.

Материалы и методы. Объект исследования – *Drosophila melanogaster* линии Oregon R (фенотип дикого типа, без мутаций). Культивирование мушек проводилось на стандартной сахарно-дрожжевой среде. Облучение мух производилось на базе ФГБУН «Уральский научно-практический центр радиационной медицины» ФМБА России на приборе ИГУР-1. Облучению подвергались только 2-3-дневные самцы родительского поколения (F₀), затем они скрещивались с необлучёнными самками. Мощность дозы для всех групп составила 0,014 Гр/с. Были сформированы дозовые группы 0, 40, 70 и 100 Гр. Потомки облучённых мух в поколениях F₁-F₁₂ брались также только мужского пола, скрещивались с самками-потомками необлучённых мух из контрольной группы.

Доминантная летальная мутация (ДЛМ) – любая вновь возникшая мутация, приводящей к гибели зиготы. В каждом поколении по 10 самок и 5 самцов в двух повторностях для каждой дозовой группы помещались в пенициллинки на 3 часа для скрещивания. После этого оплодотворённые самки высаживались на чашки Петри с агаризованной средой. По истечении 40 часов самки удалялись, чашки Петри помещались в термостат на сутки, далее производился учёт яиц при помощи бинокулярного микроскопа. Учитывалось 3 класса яиц: 1) яйца с поздними эмбриональными летальными мутациями (ПЭЛМ) – жёлтые или коричневые; 2) яйца с ранними эмбриональными летальными мутациями (РЭЛМ) – белые; 3) яйца с нормальным развитием (вылупившиеся) – по оставшимся оболочкам от яиц. Статистическая обработка данных проводилась методом χ^2 в программе PAST 3.18.

Результаты. Частота ДЛМ, возникших в половых клетках, подсчитывалась, начиная с родительского поколения (F₀) и до двенадцатого поколения потомков (F₁₂). Таким образом, всего данный показатель был проанализирован в тринадцати поколениях *Drosophila melanogaster*. Было обнаружено статистически значимое увеличение частоты РЭЛМ в поколениях F₀-F₉ при облучении самцов в дозе 40 Гр и в дозе 70 Гр, до поколения F₄ при облучении самцов в дозе 100 Гр. При оценке поздней эмбриональной гибели статистически значимое повышение ПЭЛМ при сравнении с контролем наблюдалось после облучения в дозе 40 Гр до поколения F₂, в дозе 70 Гр до поколения F₈, в дозе 100 Гр до поколения F₇. Наблюдалось статистически значимое увеличение общей частоты ДЛМ при сравнении с контролем во всех облучённых группах с F₀ до F₉.

Таким образом, в данной работе были исследованы трансгенерационные эффекты действия гамма-излучения на *Drosophila melanogaster*. Было показано, что однократное действие ионизирующего излучения в дозах 40, 70 и 100 Гр оказывает влияние на частоту ДЛМ в нескольких поколениях мух. Трансгенерационные эффекты продемонстрировали тенденцию к большей выраженности с увеличением дозы облучения, а также нерегулярный характер и постепенное угасание в ряду поколений.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ «ТРАНСПЛАНТАТ ПРОТИВ ХОЗЯИНА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЫШЕЙ, НЕСУЩИХ ГЕН EGFP

Е.В. Богданенко¹, Л.А. Сергеевич², А.В.Карнаухов², Н.А. Карнаухова², И.А. Лизунова²

¹ФГБНУ Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии,
Москва, Россия

²Институт биофизики клетки РАН, Пущино Московской области, Россия
lenabogdval@mail.ru

Аллогенная трансплантация костного мозга (ТКМ) с прекондиционированием облучением в медицине часто вызывает реакцию «трансплантат против хозяина» (РТПХ), сопровождающуюся поражением кожи и внутренних органов реципиента, что может привести к его смерти. РТПХ объясняют созревaniem в тимусе реципиента происходящих из донорских клеток-предшественников Т-клеток, которые распознают и атакуют клетки хозяина. Однако полного объяснения феномена РТПХ не существует.

Целью данного исследования является моделирование аллогенной и полуаллогенной трансплантации (опыт) и сравнение её результатов с сингенной трансплантацией (контроль).

Материалы и методы. Исследования выполнены на мышах-реципиентах инбредных линий СВА и С57В1/6 и гибридах F1 СВАхС57В1/6 возрастом 2-10 мес. За 1 день до ТКМ ($1,5 \times 10^7$ клеток на мышь) проводилось тотальное 1-кратное облучение в дозе 6,5 Гр всех мышей на рентгеновской установке РУТ-250-15-2 с мощностью излучения 1 Гр/мин. Донорами КМ являлись мыши, несущие ген зеленого флуоресцентного белка (EGFP, Tg(ACTB-EGFP)10sb/J) и разводимые на основе С57В1/6. Через 7, 11, 14 и 21 сут. после всех видов ТКМ с помощью флуоресцентного микроскопа Axio-Imager Z1 исследовали кровь реципиентов, а после аллогенной и сингенной - также печень, кожу, прямую кишку, костный мозг (КМ) и тимус без предварительной фиксации на наличие в них клеток донора различных типов.

Результаты. Уже через 7 дней отдельные фибробластоподобные донорские клетки встречались во всех указанных органах, кроме кожи, а донорские тромбоциты и лейкоциты - в крови реципиентов всех групп. На селезёнке на 11-е и 14-е сутки после ТКМ формировались колонии и сеть из фибробластов донорского происхождения, но обнаруживались также колонии собственных клеток. При перетирании на сите КМ и тимуса через 14 и 21 сут. после ТКМ выявлено, что большинство донорских клеток формируют строму указанных органов, а не паренхиму, печени - только строму. Кожа к 21-м суткам массированно заселялась донорскими круглыми клетками и фибробластами, в прямой кишке значительная часть клеток ворсин была донорской. В отличие от контроля, в опыте в строме всех органов, кроме кожи, были найдены гигантские фибробласты около 30 мкм в длину очень сложной конфигурации. У части опытных животных донорские клетки исчезали из крови и органов (чего никогда не наблюдалось в контроле). Эти животные в среднем умирали значительно позже, чем в случае, когда донорские клетки оставались в организме животного до смерти.

Выводы. В практической ТКМ человеку упускается из виду, что в КМ содержится, кроме гематопозитических, большое количество мезенхимальных стромальных стволовых клеток (ММСК), способных превращаться в организме реципиентов в клетки практически всех органов, но в первую очередь - в соединительную ткань (строму). Мы предполагаем, что клетки донора - сначала ММСК, а уже затем клетки органов - становятся мишенью для иммунной системы реципиента после того, как она начинает восстанавливаться. Это предположение подкрепляется данными картины РТПХ из медицинской практики - повреждением кожи, эпителия жёлчных протоков и слизистой оболочки пищеварительного тракта.

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЕТОК СИСТЕМЫ КРОВИ ДВУХ ЛИНИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ

Н.Н.Вейalkина, К.М.Фабuшева, Е.В. Цуканова, Ю.В. Дворник, С.П. Новицкая

Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии НАН
Беларуси», Гомель, Беларусь
veyalkina@mail.ru

Степень радиочувствительности варьирует в весьма широких пределах и тем больше, чем сложнее организован биообъект. Но и внутри вида существуют значительные вариации радиочувствительности, связанные с генетическим разнообразием. Одним из подходов к прогнозированию радиационных рисков внутри популяции, таким образом, может быть экспериментальное исследование на линейных животных, различающихся по уровню радиочувствительности.

Различия в исходном уровне экспрессии генов у мышей обуславливают скорость развития ответа на генотоксический стресс на разных структурно-функциональных уровнях и определяют механизмы реализации компенсаторно-приспособительных реакций.

Цель исследования оценить радиационно-индуцированные изменения клеток системы крови лабораторных мышей с разной генетически обусловленной радиочувствительностью.

Материалы и методы. Эксперименты были проведены на лабораторных мышках линий C57Bl/6 и Af, самцах в возрасте 2-2,5 месяцев.

Общее однократное облучение животных проводили с помощью закрытого источника γ -излучения на установке ИГУР-1 (^{137}Cs , мощность дозы 0,62 Гр/мин) в дозе 1,5 Гр, а также с помощью рентгеновской облучательной установки X-Rad 320 (PRECISION X-RAY, США) в дозах 1 и 2 Гр (мощность дозы 1,55 Гр/мин).

Животные были выведены из эксперимента на вторые сутки после облучения. Проводился анализ уровня полихроматофильных эритроцитов с микроядрами в костном мозге по стандартной методике. Лимфоциты периферической крови выделяли из цельной гепаринизированной крови на градиенте плотности HISTOPAQUE-1077. Проводился анализ количества апоптотических лимфоцитов на проточном цитофлюориметре Cytomics FC 500 с использованием набора ANNEXIN V – FITC Apoptosis Kit. Уровень повреждений ДНК определялся методом щелочного геле-электрофореза (метод ДНК-комет).

Результаты. Через 48 часов после облучения в дозе 1,5 Гр доля клеток полихроматофильных эритроцитов с микроядрами в опытных группах мышей линий C57Bl/6 и Af увеличилась 8 и 12 раз по сравнению с контрольными группами соответственно.

На вторые сутки после облучения в дозе 1,5 Гр наблюдается повышение уровня клеточной гибели лимфоцитов периферической крови мышей более чем в два раза, данные изменения более выражены у мышей линии C57Bl (17,1% при 10,9% в контроле) чем у мышей линии Af (13,7% при 6,3% в контроле).

Не отмечено значимых различий в контроле по уровню фрагментации ДНК в зависимости от линии животных. При облучении в дозах 1 и 2 Гр уровень повреждения ДНК в лимфоцитах крови мышей линии Af возрастал в 7 и 10 раз, соответственно по сравнению с контролем, тогда как в лимфоцитах крови мышей линии C57Bl/6 данный показатель возрастал в 5 и 8 раз.

Выводы. Таким образом отмечена сходная реакция клеток системы крови на облучение, различающаяся в степени выраженности в зависимости от линии мышей.

ПОСТРАДАЦИОННАЯ МИТОХОНДРИАЛЬНАЯ ДИСФУНКЦИЯ, ЕЕ РОЛЬ И ПУТИ ЕЕ МОДУЛЯЦИИ

А.И. Газиев

ФГБУ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
г. Пущино, Россия, gaziev.iteb@gmail.com

Цель. Структурные и функциональные нарушения в митохондриях, индуцируемые ионизирующим излучением (ИИ), оказывают влияние на пострадиационное развитие целого комплекса эффектов на уровне клеток и целого организма. Целью данного сообщения является: анализ возможных механизмов возникновения митохондриальной дисфункции (МД), ее подавление в клетках облученного организма.

Материалы и методы. Представлены данные литературы, а также результаты собственных исследований, выполненных с использованием адекватных методов.

Результаты. Воздействие ИИ на живые организмы создает в клетках повышенную потребность в энергетике и требует активного вовлечения митохондрий в процессы восстановления и гибели клеток. Это сопровождается активацией синтеза копий митохондриальной ДНК (мтДНК) и биогенеза митохондрий, которые можно рассматривать как реакции, направленные на компенсацию энергетических потерь в клетках и на уровне целого организма. При этом в этих клетках наблюдается увеличение потребления кислорода. МтДНК более подвержена повреждениям ИИ, чем ядерная ДНК (ядНК), и репарация ее повреждений не эффективна. Репарация двунитевых разрывов (ДР) мтДНК в клетках млекопитающих не происходит. Быстрая репликация (независимая от клеточного деления) копий мтДНК с повреждениями, с участием ДНК-pol- γ и ДНК-Pol- θ , способствует закреплению в них мутаций и делеций с повышенной частотой. Возникший повышенный уровень гетероплазмии мтДНК, активация экспрессии ее мутантных генов с синтезом дефектных белков, приводят к пертурбации системы цепи переноса электронов и синтеза АТФ. Эти процессы способствует “перепроизводству” активных форм кислорода и азота (АФК/А), которые усиливают окислительный стресс, дополнительное повреждение мтДНК и вызывают МД в течение длительного пострадиационного времени (недели и месяцы). Установлено, что возникновение МД приводит к дополнительным повреждениям ядНК и нестабильности генома. Возможно, незавершенность репарации ДР ядНК, наблюдаемая в ряде работ, в значительной мере обусловлена тем, что одновременно с репарацией ДР в клетках происходит повреждение ядНК, в условиях непрерывной генерации АФК/А. Развитие МД не регистрируется в клетках линий P^0 (клетки с истощением мтДНК) и они проявляют повышенную радиорезистентность. Установлено, что при облучении цитоплазмы нормальных клеток микропучком ИИ (диаметром 1 мкм), наблюдается индукция повреждений ядНК, но не в клетках (P^0). В связи с установлением роли МД, возникла необходимость адресной доставки антиоксидантов в митохондрии для снижения радиационных повреждений клеток. В этом направлении исследования развиваются с использованием следующих групп соединений: а). конъюгированных с липофильными катионами и проникающих в митохондрии; б). активирующих митофагию – селективное удаление поврежденных органелл; в). соединений-активаторов АМР-зависимой протеинкиназы, для усиления биогенеза митохондрий. Усиление биогенеза митохондрий способствует активации динамики этих органелл и их митофагии. Указанные группы соединений способны проявлять радиопротекторные и радиомитигаторные свойства. Однако, имеются соединения, способные преодолевать митохондриальный барьер без связки с липофильными катионами. К ним можно отнести метформин и мелатонин препараты, давно используемые в клинической практике.

Выводы. Таким образом, можно заключить, что знание механизмов индукции МД в облученных клетках представляют значительный интерес для модуляции воздействия ИИ на организм и для повышения эффективности радиотерапии опухолей.

ЧАСТОТА КЛЕТОК С ПОЛИСОМИЕЙ ХРОМОСОМ 7 И 11 В ОБРАЗЦАХ ОПУХОЛИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОСТИ РТА ДО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ ФАКТОР

*Е.В. Голуб, Г.Ф. Михайлова, Т.Г. Шкаврова, В.В. Цепенко, В.В. Польшкин, Ф.Е. Севрюков,
П.А. Исаев*

Медицинский радиологический научный центр им.А.Ф.Цыба – «НМИЦ радиологии»
Министерства здравоохранения РФ, г. Обнинск, Россия
elenagoloub@yandex.ru

Анеуплоидия при плоскоклеточном раке слизистой оболочки полости рта (СОПР) - цитогенетическое нарушение, которое наблюдается в 80% случаев. Оно свидетельствует о хромосомной нестабильности генома. Показано, что хромосомная нестабильность в резекционных образцах первичной опухоли ассоциирует с локорегиональным рецидивом ($p = 0.008$), а также может служить как прогностический фактор в отношении выживаемости. Одним из стандартных методов лечения рака СОПР является радиотерапия. Ионизирующее излучение в клинически значимых дозах, вызывает клеточные ответы, в том числе и активацию нескольких сигнальных путей, ответственных за индукцию апоптоза.

Цель данного исследования - изучить частоту клеток с полисомией хромосом 7 и 11 в опухолевых клетках при плоскоклеточном раке СОПР пациентов до лечения.

Материалы и методы. Исследование проведено методом флуоресцентной *in situ* гибридизации с помощью ДНК-зондов на центромеры (СЕР) хромосом 7, 11 (фирмы «Kreatech») для определения их полисомии. Клетки снимали щеточкой с места локализации опухоли. Исследовали 62 образца плоскоклеточного рака СОПР с различной локализацией и степенью тяжести. Чистым контролем служили 12 образцов клинически здоровых людей.

Результаты. При анализе полисомии хромосом 7 и 11 в контрольных образцах СОПР частота клеток с этим нарушением колебалась от 0 до 2% для хромосомы 7 и от 0 до 1% для хромосомы 11, а верхняя граница доверительного интервала составляла 3,0% и 1,5% соответственно. В опухолевых образцах частота клеток с полисомией хромосом 7 и 11 варьировала в диапазонах 0 – 98,0% и 0 – 92,5%, соответственно. В группе больных частота клеток с полисомией СЕР7 была достоверно ($p < 0,05$) выше контрольного уровня у 55 (90%) человек, а с полисомией СЕР11 – у 57 (92%) человек. Статистический анализ показал, что в группе пациентов медиана для СЕР7 и СЕР11 одинаково составила 16%. Показатели вариации частоты клеток с полисомией СЕР7 и СЕР11 в группе больных были следующими: нижний квартиль – 8,5% и 5,5% и верхний квартиль – 36,0% и 34,3%, соответственно. Таким образом, анализ полученных данных свидетельствует, что у 25% больных наблюдалась частота клеток с полисомией СЕР7 выше 36,0%, а с полисомией СЕР11 выше 34,3%. Высокую частоту клеток с полисомией обеих исследованных хромосом имели 10 (16%) пациентов.

Выводы. Полученные результаты показывают, что в опухолевых клетках СОПР пациентов до лечения наблюдается высокая степень нестабильности генома. Поскольку этот показатель, вероятно, может быть одним из значимых прогностических факторов в отношении выживаемости и отсроченных рецидивов, то важно контролировать частоту клеток с полисомией СЕР7 и СЕР11 в процессе получения пациентами терапевтической дозы радиотерапии.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТИМУЛИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА *HORDEUM VULGARE* L.

И. В. Горбатова, И. А. Пишенин, М. С. Подлуцкий, Е. А. Казакова

ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

gorbatova.irina.96@mail.ru

Действие низких доз γ -излучения на сельскохозяйственные растения, в частности *Hordeum vulgare* L., может приводить к стимулирующим эффектам, выраженным на уровне фенотипа, однако молекулярные пути проявления таких эффектов до сих пор детально не изучены. Получение подобных знаний может служить потенциальным источником важной информации для разработки сортов, обладающих высокой устойчивостью не только к γ -излучению, но и к другим абиотическим и биотическим стрессорам.

Цель данного исследования – изучить молекулярные механизмы формирования стимулирующего эффекта облучения у различных сортов ярового и озимого *H. vulgare*.

Материалы и методы. Проведена оценка морфологических показателей 7-ми дневных проростков после γ -облучения семян и выполнена градация сортов по радиочувствительности на основе выраженности морфологического эффекта облучения. Изучена экспрессия кандидатных генов, связанных с проявлением стимулирующего эффекта облучения семян, в корнях и побегах 7-ми дневных проростков методом ПЦР в реальном времени. Проведен эксперимент по поиску метаболических детерминант эффекта радиационного гормезиса в сортах ячменя методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Результаты. Морфологический анализ позволил ранжировать сорта ячменя по выраженности ответной реакции на облучение. Стимулирующий эффект зафиксирован для четырех сортов – Фокс 1, Ратник, Ерема и Мастер, ингибирующий – для сорта Леон, для сортов Грис, Федос эффекта по исследуемым параметрам не обнаружено.

Для анализа экспрессии генов на основе ранее проведенного транскриптомного анализа зародышей ячменя, облученных в дозе 20 Гр, были выбраны 17 кандидатных генов и проведена оценка их дифференциальной экспрессии в побегах и корнях проростков ячменя 7-ми сортов с разной чувствительностью к низкодозовому облучению семян. Установлено, что 11 генов изменяли свою экспрессию у облученных растений. Гомологи ячменя *PM19L* и *CML31* предложены в качестве возможных детерминант радиационного гормезиса. По результатам экспрессии гомолога *AOS2* выявлено, что в радиационной стимуляции роста, вероятно, играет роль передача сигналов жасмоната в корнях. Результаты исследования показали, что генетический фон сорта играет важную роль в эустрессовом ответе на низкодозовое γ -облучение семян.

На основе ранее выполненного GC-MS анализа метаболома, где был изучен метаболический профиль побегов и корней ячменя, содержащий порядка девятисот метаболитов, были выбраны метаболиты, значимо изменяющие концентрацию в тканях растений в результате облучения семян. По итогам работы отобраны 11 метаболитов, включающие в себя основные свободные аминокислоты и стрессовые метаболиты. Был проведен анализ концентраций кандидатных метаболитов методом ВЭЖХ в побегах и корнях проростков ячменя, облученных стимулирующей дозой 20 Гр в сравнении с контрольными образцами.

Заключение. Результаты данной работы помогут прояснить конкретные молекулярные пути формирования адаптивных реакций ячменя обыкновенного на низкодозовое гамма-облучение и в дальнейшем приступить к разработке продуктивных и устойчивых к стрессовым факторам сортов *H. vulgare*.

При поддержке гранта РФФИ № 19-04-00152.

ГУАНИНОВЫЕ КВАДРУПЛЕКСЫ В МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК: ВОЗМОЖНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА ПРИ ИНКОРПОРАЦИИ ^{137}Cs

А.И. Грицук, А.Н. Коваль

Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

Alexgritsuk2019@gmail.com

Одним из механизмов развития, ранее описанных, нарушений тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования тканей [Грицук А.И. и др., 2002, 2006, 2008], а также данные литературы о формировании различной патологии в условиях инкорпорации ^{137}Cs , может быть увеличение неустойчивости митохондриального генома, ассоциированное со структурными изменениями митохондриальной ДНК (мтДНК), в виде гуаниновых квадруплексов (G4) и других неканонических форм. Однако, биохимические аспекты этой проблемы исследованы недостаточно.

Цель. Определить локализацию G4 в мтДНК человека и оценить их потенциальную роль в формировании радиационно-индуцированной неустойчивости генома (РИНСГ), вызванной инкорпорацией ^{137}Cs .

Материалы и методы. Обнаружение G4 участков в мтДНК производили с помощью пакета gquad для среды программирования R. Последовательность мтДНК человека для исследования - NC_012920.1 (GenBank). В тяжелой (H-strand) цепи мтДНК находили G4 и триплексные последовательности.

Результаты. Проведенный анализ выявил 28 сайтов G4 и 2 сайта с триплексными последовательностями в мтДНК человека. Полученные результаты, представляющие собой неперекрывающиеся G4 последовательности с локализацией в разных генах: чаще всего G4 в мтДНК обнаруживаются в генах, кодирующих рибосомальную РНК (12S и 16S), а также в гене субъединицы 1 цитохромоксидазы (MT-CO1). С учетом перекрытия в кодирующей тяжелой цепи мтДНК количество обнаруженных G4 возросло до 67. Триплексные последовательности в мтДНК, начинаются, соответственно, с 14097 положения (21 нуклеотид) и с 15443 положения (20 нуклеотидов).

Заключение. Результаты исследования показали, что G4 составляют значительную часть кольцевой мтДНК, локализуясь в участках рибосомальной РНК и субъединицы 1 ключевого комплекса электронтранспортной цепи – цитохромоксидазы. Это, как свидетельствуют данные литературы, может быть предпосылкой развития феномена РИНСГ. В частности установлено, что такие не-В ДНК конформации, как G4, триплексы и др., сами по себе, вносят значительный вклад в формирование геномной неустойчивости или «коллапса репликативной вилки».

Мы полагаем, что следствием значительного присутствия G4 в мтДНК, из-за большей их подверженности химическим модификациям, а также из-за селективного накопления в митохондриях ионов таких элементов IА группы, как K^+ и Cs^+ , возможно депонирование $^{137}\text{Cs}^+$ в G4 мтДНК и других структурах митохондриального компартмента. В условиях инкорпорации ^{137}Cs , эти особенности мтДНК могут приводить к развитию окислительного и репликативного стресса, последующим нарушениям внутриклеточных метаболических процессов, ведущих к формированию митохондриальной патологии, а в ряде случаев, в результате развития адаптивных механизмов, появлению индивидуумов более устойчивых к данному воздействию.

ИНДУКЦИЯ ГЕННЫХ МУТАЦИЙ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ АЗОТА В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ *S. CEREVISIAE*

Н. И. Жучкина, Н. В. Шванева, В. С. Елизарова, Н. А. Колтовая

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

gem_nadin@bk.ru

Воздействие на клетки ионизирующей радиации приводит к возникновению мутаций различной молекулярной природы, включая генные. Однако изучение закономерностей их индукции для человека сопряжено с техническими трудностями. Консервативность базовых молекулярных процессов в клетке, в том числе репарационных, делает возможным использование модельных эукариотических систем. Одной из наиболее привлекательных моделей в биологических исследованиях служат одноклеточные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*.

Целью данного исследования является изучение индукции генных мутаций в гаплоидных клетках дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* под действием редко- и плотно-ионизирующих излучений на базе установок ОИЯИ.

Материалы и методы. Для изучения количественных закономерностей индукции генных мутаций использовали специальные генетические системы, позволяющие тестировать GC-AT транзиции в гене *TRP1*, мутации сдвига рамки считывания в гене *LYS2* и прямые мутации различной природы, инактивирующие ген аргинин пермиазы *CAN1* (резистентность к канаванину). Источником γ -излучения служил терапевтический аппарат «Рокус» (^{60}Co , 0,25 кэВ/мкм, 0,7 Гр/мин). Ускоренные пучки ионов азота с ЛПЭ в диапазоне 67-177 кэВ/мкм получали на циклотроне У-400М. Для секвенирования генов *CAN1* и *LYS2* отбирали спонтанные мутанты и мутанты, индуцированные γ -лучами и ионами азота с ЛПЭ 67 кэВ/мкм при облучении в двух дозах 20 и 80 Гр.

Результаты. Наблюдалась характерная для гаплоидных штаммов экспоненциальная зависимость выживаемости от дозы облучения. Зависимость ОБЭ летального действия от ЛПЭ представляла собой кривую с максимумом при ЛПЭ~125 кэВ/мкм, максимальное значение ОБЭ составляло $3,8 \pm 1,4$. Кривые доза-эффект прямых мутаций в гене *CAN1* и мутаций сдвига рамки считывания описываются линейной функцией при облучении γ -лучами. Однако частота мутаций, вызванных тяжёлыми ионами, увеличивалась с увеличением дозы, достигала пика в 40–80 Гр и затем снижалась. Вычисление ОБЭ мутагенного действия по начальным линейным участкам показало, что для мутагенного эффекта также наблюдается кривая с локальным максимумом. В рамках использованных нами значений ЛПЭ максимальные значения ОБЭ составляли для прямых мутаций $2,8 \pm 0,4$ при ЛПЭ 67 кэВ/мкм и для мутаций сдвига рамки считывания – $3,3 \pm 0,3$ при ЛПЭ 108 кэВ/мкм. Зависимости частоты индукции замен пар оснований от ЛПЭ в используемом диапазоне не было выявлено.

Были отобраны мутанты как спонтанные, так и индуцированные γ -излучением и ионами азота, и секвенированы мутантные аллели. Спектры мутаций будут приведены. Отметим, что мутации во всех исследованных случаях были расположены равномерно по всему гену без «горячих» точек.

Выводы. Полученные в работе результаты свидетельствуют, что тяжёлые ионы эффективно индуцируют как небольшие делеции (<100 п.н.), так и точечные мутации (замены пар оснований) и выпадение одного нуклеотида. Редко ионизирующее излучение (γ -лучи) вызывало замены оснований более эффективно, чем ускоренные тяжелые ионы, но тяжелые ионы вызывали более эффективно делеции и комплексные мутации.

ИНДУКЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ХРОМОСОМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПУЧКАМИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ

А. Н. Кокорева, Н. И. Жучкина, Н. В. Болонкина, Н. А. Колтовая

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
aleksandras@inbox.ru

Ионизирующая радиация вызывает широкий спектр повреждений, наиболее опасными из которых являются двунитевые разрывы (ДНР) ДНК. ДНР служат мишенями нескольких систем репарации, из которых наибольший вклад вносят репарация путем гомологичной рекомбинации (homologous recombination - HR) и воссоединение нехомологичных концов (nonhomologous end joining - NHEJ). В результате репарации могут происходить как рекомбинационные события (конверсия и кроссинговер), так и утрата информации (делеции, потеря хромосомы).

Целью данного исследования является изучение количественных закономерностей возникновения рекомбинационных и делеционных событий при облучении тяжелыми ионами.

Материалы и методы. Закономерности радиационного воздействия изучали на модельной системе гаплоидных штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Для изучения внутрихромосомных рекомбинационных событий использовали инвертированные повторы, локализованные во II хромосоме и обеспечивающие потенциальную возможность осуществления HR, в том числе сопровождающуюся делециями. Выпадение протяженного участка ДНК, сопутствующее репарации, тестировали также с помощью центромеросодержащей плазмиды со встроенными пятью маркерными генами. Размер и локализацию индуцированной делеции определяли с помощью генетического, электрофорезного и рестрикционного анализа. Утрату маркированной хромосомы наблюдали у дисомика по 7 хромосоме.

γ -облучение проводили на терапевтическом аппарате «Рокус», в качестве источника служил ^{60}Co (мощность дозы 0,7 Гр/мин). Облучение ускоренными ионами с энергией 30-52 МэВ/нукл и ЛПЭ 17-124 кэВ/мкм проводили на Циклотроне У-400М.

Результаты. Для всех тестерных гаплоидных штаммов выживаемость клеток описывалась экспоненциальной функцией. Зависимость частоты рекомбинационных перестроек и делеций от дозы γ -излучения описывалась линейной и линейно-степенной функцией в случае облучения тяжелыми ионами. Дозовая зависимость частоты утраты хромосомы описывалась степенной функцией при облучении как редко-, так и плотно-ионизирующим излучением. Зависимость ОБЭ как летального, так и мутагенного действия от ЛПЭ описывалась кривой с максимумом при ЛПЭ 100 кэВ/мкм. А именно, для внутрихромосомной рекомбинации максимальные значения ОБЭ составляли 5,9 для летального эффекта и 5,7 для мутагенного эффекта при ЛПЭ 92 кэВ/мкм. Для генетической системы, позволяющей тестировать делеционные мутанты, максимум ОБЭ не был выявлен в связи с ограниченностью выборки ЛПЭ. Однако полученные значения ОБЭ сравнимы с данными предыдущей системы, как по летальности, так и по мутагенезу. Внутрихромосомные рекомбинации индуцируются на два порядка эффективнее делеций под действием тяжелых ионов.

Выводы. Полученные в работе результаты свидетельствуют, что индукция структурных мутаций тяжелыми ионами была более эффективной, чем при γ -облучении. Максимальная эффективность летального действия, индукции перестроек, делеций и утраты хромосом достигается при ЛПЭ ~ 100 кэВ/мкм. При этом наиболее эффективно индуцируются рекомбинационные события, с меньшей частотой образуются делеции и потери хромосом.

КОРРЕКЦИЯ ПРЕДМУТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ УЧАСТИИ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ДНК-ГЛИКОЗИЛАЗЫ MutY ИЗ E.coli В РАДИАЦИОННОМ МУТАГЕНЕЗЕ ФАГА λ

Л. В. Коневега, Е. А. Смирнова

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального
исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия
konevega_lv@pnpi.nrcki.ru

В плане общего изучения молекулярных механизмов мутагенеза радиационный мутагенез представляет отдельный и особый интерес. Сложность изучения радиационного воздействия на биологические объекты связана с огромным числом разнообразных повреждений, возникающих в белках, нуклеиновых кислотах и субклеточных структурах. Предполагается, что в развитии радиационного поражения ведущая роль принадлежит разнообразным повреждениям ДНК, включающим модификации азотистых оснований, одно- и двунитевые разрывы, АП-сайты, кросс-сшивки ДНК-ДНК и ДНК-белок. Какие же из перечисленных повреждений в первую очередь ответственны за радиационный мутагенез?

Наше сообщение касается некоторых частных случаев повреждения азотистых оснований ДНК под действием γ -излучения и сопоставления их с повреждениями пуриновых нуклеотидов в результате распада ^3H в 8-м положении аденина и гуанина. Рассматривается последовательность событий, запускаемых действием γ -излучения и трансмутацией инкорпорированного в ДНК трития.

Целью данного исследования является экспериментальное подтверждение антимутагенного действия привнесённого продукта гена *mutY* по устранению предмутационных повреждений в ДНК внеклеточного фага λ , облучённого γ -квантами ^{60}Co в полуаноксических условиях.

Материалы и методы. В качестве экспериментальной модели использовали внеклеточный фаг λ_{c1857} и клетки-хозяева E.coli K12 как дикого типа, так и дефектные по генам *mutM* (M^-) и *mutY* (Y^-). Для клонирования гена *mutY* использовали вектор pET21b (Novagene). Показателем уровня индуцированного мутагенеза в фаговой популяции служила относительная частота N_m/N с-мутантов фага λ . Облучение проводили на γ -установке «Исследователь» при мощности дозы 4,5 Гр/мин.

Результаты. При сравнении относительных частот N_m/N с-мутантов фага λ обнаружено снижение N_m/N в 2,5 раза в клетках E.coli K12 $M^- Y^-$ /pET21b(*MutY*) относительно двойного мутанта E.coli K12 $M^- Y^-$.

Выводы. Полученный результат убедительно указывает на антимутагенную коррекцию с участием ДНК-гликозилазы *MutY* предмутационных повреждений в λ -ДНК, образовавшихся при действии γ -излучения.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ АПОПТОЗА ПО АКТИВНОСТИ КЛЮЧЕВЫХ ГЕНОВ-ИНДУКТОРОВ И ГЕНОВ-ИНГИБИТОРОВ ПРИ НИЗКОДОЗОВОМ IN VIVO ВОЗДЕЙСТВИИ АЛЬФА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

И.Б. Корзенева

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Саров, Россия
inna-korzeneva@yandex.ru

Радиационно-эпидемиологический регистр Российского Федерального ядерного центра (РФЯЦ-ВНИИЭФ) проводит исследования молекулярно-генетических основ индивидуальной реакции человека на воздействие всех видов ионизирующего излучения (ИИ). Одним из важных практических приложений этих исследований является разработка методологических и практических подходов к разработке индивидуальных программ прогнозирования, профилактики и лечения заболеваний у работников атомной отрасли в целях последующего внедрения технологий персонифицированной медицины. **Целью** данного исследования являлось установление ведущего пути, по которому запускается процесс апоптоза, когда наиболее интенсивным первоначальным сигналом является низкодозовое воздействие плотно ионизирующего альфа-ИИ или редко ионизирующего гамма-ИИ. **Материалы и методы.** Экспериментальные исследования выполнены на образцах сыворотки периферической венозной крови и лимфоцитарных лизатов плазмы двух групп персонала одного из объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) Госкорпорации «Росатом», при этом первая группа подвергалась in vivo преимущественно воздействию альфа-излучения, а вторая – гамма. Общая численность выборки – 86 человек. Исследование проводилось при помощи оборудования последнего поколения – системы «MagPix» для мультиплексного анализа биомаркеров (Luminex® xMAP®).

Результаты. Выполнено измерение и последующая аналитическая оценка уровней экспрессии 7-ми ключевых генов-маркеров раннего апоптоза (индукторы – JNK, BAD, TP53, CASP-8, CASP-9, ингибиторы – BCL-2, АКТ). Установлены преобладающие молекулярные сигнальные пути индукции апоптоза и оценена их активность. В результате сравнительного анализа экспрессии всех вовлеченных генов выявлены существенные различия в составе основных регуляторов апоптоза в альфа- и гамма-облученных группах персонала. По результатам составлена карта относительной активности путей апоптоза для исследованных групп. Измерено содержание 26-ти циркулирующих онкомаркеров (ОМ) в периферической крови обследованных. Выявлены механизмы, предрасполагающие к большей онконапряженности в альфа-группе – большая активность внешнего пути апоптоза (через активацию каспазы-8) и большая экспрессия генов-ингибиторов апоптоза (BCL-2 и АКТ), т.к. этот путь апоптоза (через «домен смерти» TNF-R, «рецепторы смерти» DR или «фактор смерти» FAS-L, активирующие каспазу-8) инициируется, как правило, в ответ на появление различных линий злокачественных клеток в кровотоке. Гипотезу о большей онконапряженности в альфа-группе подтверждают результаты прямого измерения циркулирующих ОМ.

Выводы. Результаты могут быть использованы для экспресс-прогнозирования индивидуальной реакции организма человека на воздействие ИИ в когортах персонала атомной науки и промышленности, военно-космических сил, пациентов и персонала радиотерапевтических и рентгенологических отделений клиник.

**ЭКСПРЕССИЯ КЛЮЧЕВЫХ БЕЛКОВ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ
РАСПОЗНАВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК, РЕПАРАЦИИ И АПОПТОЗА
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ВЛИЯЕТ НА ИММУНИТЕТ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НИЗКОДОЗОВОМ АЛЬФА- И ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ
IN VIVO. ИММУНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЧАСЫ**

И.Б. Корзенева¹, Т.Т. Радзивил²

¹ Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Саров, Россия

² Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА РФ, Северск, Россия
inna-korzeneva@yandex.ru

Для выявления эффектов действия малых доз ионизирующего излучения (ИИ) на человека, для оценки и прогнозирования состояния здоровья облученных лиц и их потомков необходимо проведение исследований с применением современных молекулярно-генетических технологий. Только накопление экспериментальных данных, полученных при анализе биообразцов облученного *in vivo* персонала, позволит разработать эффективные «рискометры» основных социально-значимых заболеваний для различных контингентов людей, подвергающихся пролонгированному действию ИИ. В последнее время публикуется все больше данных о том, что хроническое воздействие вредных экзогенных факторов, включая ИИ, даже в низких концентрациях приводит к снижению экспрессии важнейших генов, что ослабляет контроль организма за возникновением широкого спектра заболеваний.

Целью данного исследования является изучение молекулярных механизмов возникновения и развития хронических и острых заболеваний в когортах лиц, подвергающихся действию малых доз двух видов ИИ – плотно ионизирующего корпускулярного альфа- и низко ионизирующего фотонного гамма-излучения.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на образцах периферической венозной крови персонала двух групп персонала одного из объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) Госкорпорации «Росатом», при этом первая группа подвергалась *in vivo* преимущественно воздействию альфа-излучения, а вторая – гамма. Общая численность выборки – 86 человек. Методом ИФА были оценены 19 показателей иммунного статуса (общие показатели иммунитета, характеристики его Т- и В-звеньев). Иммуноцитохимическим методом по технологии проточной цитометрии измерена экспрессия ключевых DDR-белков сигнальных путей распознавания повреждений ДНК, их репарации и апоптоза поврежденных клеток (*wip1*, *rad50*, *mdm2*, *nbs1*, *mre11*, *atm*, *brca1*).

Результаты. Для раннего обнаружения заболеваний верхних дыхательных путей, болезней органов пищеварения, мочеполовой системы, нарушений обмена веществ и эндокринных заболеваний выявлен ряд молекулярных маркеров, дифференциально информативных в разных условиях облучения; разработаны «иммуно-генетические часы», специфичные для персонала, контактирующего с альфа- и гамма-ИИ; установлены различия в механизмах формирования большинства заболеваний в этих группах персонала.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что молекулярно-генетические изменения не остаются без последствий не только для клетки, но и для организма в целом, и выражаются в различном влиянии на механизм возникновения как хронических, так и острых заболеваний.

СИГНАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ МИНОРНЫХ ФРАКЦИЙ ФОСФОЛИПИДОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КЛЕТОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ У МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ К ДЕЙСТВИЮ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ

А.Г. Кудяшева¹, Л.Н. Шишкина²

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

²Институт биохимической физики им.Н.М.Эмануэля РАН, Москва, Россия

kud@ib.komisc.ru

Для прогнозирования возможных биологических эффектов необходим поиск метаболически важных показателей для более полной оценки малых доз ионизирующей радиации. Решающая роль в начальных процессах лучевого поражения отводится процессам перекисного окисления липидов (ПОЛ) и оценке состояния клеточных мембран органов, объективным отражением которой является анализ состояния липидов, их количество, качественный состав. Минорные фракции фосфолипидов (ФЛ) рассматриваются как важные внеклеточные сигнальные молекулы. **Цель** исследований заключалась в сравнительной оценке содержания минорных фракций ФЛ в тканях мелких грызунов при хроническом облучении в среде обитания и в условиях экспериментов при сочетанном γ -облучении и факторов химической природы. Проведен анализ данных количественного состава минорных фракций ФЛ (лизофосфатидидхолин – ЛФХ, кардиолипин + фосфатидная кислота – КЛ+ФК, сфингомиелин – СМ) у разных видов диких грызунов в условиях радиоактивного загрязнения среды (Республика Коми, зона отчуждения ЧАЭС) и у лабораторных мышей при раздельном и сочетанном действии облучения в малой дозе и факторов химической природы (нитратов свинца, нитратуранила, препарата Серпистен).

Материал и методы. Уровень внешнего γ -облучения и содержание естественных радионуклидов в почве и растительности на радиоактивных участках в Республике Коми варьировала в пределах от 50-2000 мкР/ч. Семь стационарных участков, выбранных в 30-км зоне аварии на ЧАЭС в 1987 г. по мощности дозы внешнего гамма-излучения отличались на 4 порядка (0,02-200мР/ч). Проведен анализ состава ФЛ методами тонкослойной хроматографии в селезенке, эритроцитах, печени, головном мозге от 1500 грызунов (полевка-экономка, полевая мышь, рыжая полевка, желтогорлая мышь) и в экспериментах – у более 250 лабораторных мышей.

Результаты. Многолетние исследования на территориях с радиоактивным загрязнением (4 года в Республике Коми и 6 лет в зоне аварии) показали изменчивость и гетерогенность в содержании минорных фракций ФЛ у мелких грызунов. Несмотря на это у грызунов природных популяций с территорий с повышенным уровнем радиоактивности (Республика Коми, зона отчуждения ЧАЭС) выявлены одинаковая направленность изменений, проявляющаяся в активации минорных фракций ФЛ: ЛФХ, КЛ+ФК и СМ. При этом значимые изменения этих показателей сильнее проявлялись у грызунов в зоне отчуждения в первые годы после аварии на участках со средним уровнем радиоактивного загрязнения, а в экспериментах при сочетанном действии зависели от дозы химических соединений и времени после действия. Полученные данные свидетельствуют о том, что в результате хронического облучения в малых дозах происходит интенсификация ПОЛ в тканях мышевидных грызунов, за счет чего липидно-белковые компоненты становятся доступными для фосфолипаз и протеаз.

Выводы. Активация минорных фракций ФЛ в тканях мелких грызунов свидетельствует об адаптивных перестройках на клеточном уровне и могут способствовать формированию их устойчивости к действию малых доз радиации и факторов химической природы.

ОПРЕДЕЛЕННЫЕ МЕТОДОМ «КОМЕТА ТЕСТ» УРОВНИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК ИНТАКТНЫХ И Х-ОБЛУЧЕННЫХ КЛЕТОК МЫШЕЙ ПРИ РАЗНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ

Е.А. Кузнецова¹, Н.П. Сирота¹, Т.А. Зенченко^{1,2}

¹Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

E-mail: kuzglu@rambler.ru

В различных исследованиях было показано, что физиологические показатели работы сердечно-сосудистой системы человека изменялись в зависимости от метеорологических факторов (в основном, от температуры воздуха); у пожилых людей воздействие более высокой средней температуры воздуха связано с увеличением поражений митохондриальной ДНК. В отличие от человека, подверженного влиянию факторов, обусловленных его деятельностью (вариации диет, перемещения, стрессы, самовнушение), лабораторные животные не подвергаются указанным влияниям. Тем не менее, мы обнаружили, что уровни повреждений ДНК лейкоцитов крови (процент ДНК в хвосте «кометы» - %TDNA) у интактных мышей различались в разные дни. В норме уровень повреждений ДНК клеток отражает процессы повреждения и репарации ДНК, поскольку она постоянно подвергается спонтанной тепловой и гидролитической деградации, окислению и метилированию. Повышение базального %TDNA лейкоцитов может свидетельствовать об атаках генотоксических физико-химических факторов.

Цель: методом «комета тест» оценить %TDNA лейкоцитов крови интактных мышей и клеток асцитной карциномы Эрлиха (АКЭ) или мышинового лимфолейкоза Р388 до и после воздействия рентгеновского излучения на эти клетки *in vitro* и выявить, как соотносятся %TDNA с изменениями атмосферных показателей.

Материалы и методы: Аликвоты клеток крови, АКЭ и лимфолейкоза Р388, находящиеся в агарозных слайдах, облучали на рентгеновской установке «РУТ-250-15-1» в ЦКП «Источники излучений» ИБК РАН (г. Пущино) при мощности дозы 1,12 Гр/мин. %TDNA клеток определяли щелочной версией метода «комета тест», позволяющей выявлять одно-, двунитевые разрывы и щелочелабильные (апуриновые/апиримидиновые) сайты в ДНК.

Результаты: обнаружили, что повышенные значения %TDNA лейкоцитов крови интактных мышей регистрировались в узких диапазонах атмосферной температуры (-4 °С – +3 °С) и парциального содержания кислорода воздуха (298-304 мг/л); по мере роста уровня геомагнитной активности увеличивался диапазон вариаций %TDNA лейкоцитов; изменения %TDNA лейкоцитов и опухолевых клеток, не облученных или Х-облученных *in vitro* в дозе 4 Гр, ассоциированы с изменениями температуры воздуха; выявлена корреляция между среднесуточной температурой и %TDNA обоих видов необлученных опухолевых клеток и облученных *in vitro* клеток Р388.

Выводы: Можно полагать, что вариации %TDNA связаны с воздействием активных форм кислорода, формирующихся в окружающей среде при температурах фазовых переходов воды. Изменения базального %TDNA клеток, по-видимому, могут приводить к изменению их радиационного ответа.

ГИПЕРМЕТИЛИРОВАНИЕ ПРОМОТОРОВ ГЕНОВ У ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ДОЗЫ И ВИДА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Н.С.Кузьмина*¹, *Н.Ш. Лантева*¹, *Г.Г. Русинова*², *Т.В.Азизова*², *Н.С. Вязовская*²,
*А.В.Рубанович*¹

¹ФГБУН Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук,
Москва, Россия

²ФГУП Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России,
г.Озерск Челябинской обл., Россия
nin-kuzmin@yandex.ru

Оценка закономерностей индукции генетических и эпигенетических нарушений в клетках организма облученного человека – одна из основных задач радиационной генетики. Результаты проведенного нами ранее пилотного исследования гиперметиличивования CpG – островков промоторов четырех локусов (*RASSF1A*, *p16/INK4A*, *p14/ARF*, *GSTP1*) в двух независимых выборках облученных лиц свидетельствуют о значимости радиационного фактора в индукции этих эпигенетических нарушений (Kuzmina et al., 2016, 2018). Выявлена незначительная, но статистически значимая корреляция между частотами аберраций хромосомного типа и суммарным числом метилированных локусов ($r = 0,26$; $p = 0,009$).

Целью дальнейшего исследования являлась оценка зависимости индукции рассматриваемых модификаций эпигенома от дозы и вида радиационного воздействия с привлечением однородных выборок лиц, облученных в результате профессиональной деятельности и имеющих продолжительный стаж работы в условиях одного завода.

Материалы и методы. Обследованы работники реакторного и радиохимического производств предприятия атомной промышленности “Маяк”, подвергшихся, соответственно, пролонгированному внешнему воздействию γ -радиации и комбинированному действию внешнего γ -/внутреннего α -излучений (инкорпорированный ^{239}Pu). Дозы воздействия γ - и α -излучений на красный костный мозг составили, соответственно, от 142 до 2950 мГр и от 0 до 67.1 мГр. Промежуток времени между окончанием работы в условиях радиационного воздействия и взятием крови находился в диапазоне от нескольких месяцев до 61 года. С помощью метода метилчувствительной ПЦР, проведено изучение гиперметиличивования промоторов генов клеточного цикла (*RASSF1A*, *p16/INK4A*, *p14/ARF*, *p53*, *ATM*), детоксикации ксенобиотиков (*GSTP1*), антиоксидантной защиты (*SOD3*), эстрогенового рецептора (*ESR1*) в лейкоцитах крови вышеуказанных групп облученных лиц (149 чел.) и у 50 индивидов контрольной группы (жители г. Озерска).

Результаты. Результаты ROC-анализа свидетельствуют о значимой сопряженности статуса «облученный» с метилированием хотя бы одного из 6 генов (*p16/INK4A*, *GSTP1*, *p53*, *ATM*, *SOD3*, *ESR1*): $\text{AUC} = 0.69 \pm 0.04$, $p = 5.9 \cdot 10^{-5}$. Наибольшая доля индивидов – носителей этих эпигенетических нарушений выявлена в группе работников радиохимического производства, подвергшихся комбинированному действию внешнего γ -/внутреннего α - излучений. Показано, что метилирование двух других изученных генов *p14/ARF* и *RASSF1A* обусловлено исключительно возрастом (логистическая регрессия: $p = 0.010$). Выявлена статистически значимая сопряженность накопленной дозы облучения и числа метилированных промоторов ($r = 0.289$, $p = 3.4 \cdot 10^{-5}$ и $r = 0.179$, $p = 0.011$ для воздействия γ - и α -излучений, соответственно).

Выводы. Гиперметиличивование промоторов ряда генов, которое выявляются в лейкоцитах крови спустя годы и десятилетия после перенесенного пролонгированного облучения, характеризуется зависимостью от дозы и вида радиационного воздействия.

ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ – БИОМАРКЕРЫ РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ

Г.М. Минкабирова, С.А. Абдуллаев

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия
gulchachak.mink@gmail.com

Клеточная гибель в тканях человека и животных представляет собой активный процесс, поддерживающий обновление клеточных популяций, функциональную целостность и гомеостаз тканей. С активностью клеточной гибели сопряжены уровни содержания фрагментов внеклеточной ДНК (вк-ДНК) в биологических жидкостях млекопитающих. Ранее в нашей лаборатории было показано значительное повышение содержания вк-ядерной ДНК (вк-яДНК) и митохондриальной ДНК (вк-мтДНК) в плазме/сыворотке мышей, подвергнутых воздействию ионизирующей радиации. В настоящее время качественные и количественные изменения вк-ДНК в кровотоке человека рассматриваются как биомаркер для быстрой оценки лучевой реакции и как диагностическая и прогностическая «жидкая биопсия» в процессе радио-, химиотерапии опухолей. Циркулирующие фрагменты вк-мтДНК и вк-яДНК, поступающие в кровоток животных, возможно, подвергаются нуклеазной деградации, но определенная ее часть, защищенная от действия нуклеаз, может оказаться в моче, как трансренальная ДНК. **Цель.** Изучить возможность повышения экскреций вк-яДНК и вк-мтДНК с мочой облученных крыс, а также после введения цитостатического препарата – блеомицина. Анализ трансrenalной вк-ДНК был интересен не только для тестирования ее содержания неинвазивным методом, но и для выяснения возможностей вк-ДНК преодолевать почечный барьер у облученных животных.

Материалы и методы. В экспериментах были использованы 3-х месячные самцы крыс линии Wistar. Животные подвергались рентгеновскому облучению в дозах 3, 5 и 8 Гр. Блеомицин вводили внутривентрально в концентрациях 3, 7, и 10 мг/кг. Методом ПЦР-РВ было исследовано количественное содержание вк-яДНК и вк-мтДНК в образцах мочи, изучена динамика изменения общего количества копий мтДНК относительно яДНК в разные сроки (от 6 часов до 30 дней) и дозы после облучения.

Результаты. Результаты анализов показали, что уровень общего количества мтДНК и яДНК в моче облученных крыс зависит как от пострadiационного времени, так и от дозы облучения. Показано, что содержание вк-яДНК и вк-мтДНК имеет линейную зависимость от дозы рентгеновского излучения. Так, самые большие количества копий мтДНК и яДНК регистрировались в период от 6 до 24-х часов после облучения. Количество продуктов ПЦР-амплификации вк-мтДНК в 2-3 раза выше, по сравнению с таковым вк-яДНК. Данные анализов содержания вк-яДНК и вк-мтДНК в моче у крыс после введения блеомицина также показали их повышенные уровни по сравнению с контрольными животными. Содержание вк-яДНК и вк-мтДНК имела линейную зависимость от дозы препарата.

Выводы. Показана возможность преодоления у животных вк-мтДНК и вк-яДНК трансrenalного (почечного) барьера и их перехода в мочу после рентгеновского облучения, а также после введения блеомицина. Удалось выяснить дозовую зависимость этого процесса. Таким образом, повышенное содержание внеклеточных нуклеиновых кислот в моче можно рассматривать как потенциальные биомаркеры для оценки уровня генотоксического груза при радиационном поражении организма, а также при воздействии других генотоксических агентов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-34-00832.

РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ЭМБРИОНАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ИЗ НИХ НЕЙРОНАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК

Е.А Насонова¹, О. Аррицабалага де Минго², И. Шредер², С. Румтер²

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²GSI Helmholtz Center for Heavy Ion Research, Darmstadt, Germany

nasonova@jinr.ru

Интерес к стволовым клеткам (СК) исключительно высок. Они перспективны для использования в регенеративной медицине, для оценки радиационных рисков в раннем эмбриональном периоде, но для того, чтобы использовать их, особенно в медицинских целях, их генетическая стабильность должна быть детально исследована, и постоянный мониторинг ее – неотъемлемое условие для применения СК. Мы изучали радиочувствительность эмбриональных СК (ЭСК) и полученных при их дифференцировке нейрональных СК (НСК). Хромосомные aberrации (ХА) изучали с помощью современного метода молекулярной цитогенетики multiplex fluorescence in situ hybridization (mFISH), позволяющего идентифицировать каждую пару хромосом путем мечения уникальными сочетаниями 5 флуорохромов, и регистрировать все структурные и численные aberrации.

Цель данного исследования: методом mFISH изучить генетическую стабильность ЭСК и НСК в условиях длительного культивирования in vitro и оценить индукцию и элиминацию ХА при действии радиации.

Материалы и методы. ЭСК WA09 культивировали на фидерном слое, используя механический метод культивирования (вырезание скальпелем центральных частей колоний, МП) или энзиматическим (диспаза, ЭП). ЭСК дифференцировали в нейрональном направлении сменой среды на нейробазальную. НСК культивировали, используя МП (скребок) или ЭП (аккутаза) методы. Контроль маркеров плюри- и мультипотентности проводили методом RT-PCR и иммуноцитохимическим окрашиванием. Для хромосомного анализа клетки фиксировали через 20 ч после рентгеновского (250 кВ, 16 мА) облучения.

Результаты. МП хорошо сохраняет генетическую стабильность ЭСК: число aberrантных клеток (АК) составляло 0-0.9%. При ЭП наблюдали 0.5-2.5% АК. Облучение в дозе 1 Гр индуцировало 16 и 21% АК, соответственно, а также массовую гибель апоптозом поврежденных клеток: более 50 % в первые 20 ч. Через 14 дней после облучения частота АК снижается, но не достигает контрольного уровня. Уровень спонтанных aberrаций в НСК возрастал с 0-1% до 8-9% в пассажах 0 и 5 и стабилизировался на этой отметке. Облучение в дозе 1 Гр приводит к более высокому, чем у ЭСК, выходу повреждений: 48-50% АК, и низкому уровню апоптоза. Через 14 дней после облучения частота АК также не достигает контрольного уровня (12%). Значительную часть остаточных ХА у ЭСК и НСК составляют стабильные aberrации.

Выводы. ЭСК сохраняют высокую генетическую стабильность при правильном выборе методов культивирования. При облучении апоптоз является основным механизмом поддержания генетической стабильности ЭСК, вызывая домитотическую гибель большинство поврежденных клеток. Дифференцировка в нейрональном направлении приводит к возрастанию числа АК в ряду пассажей, вероятно, в связи с возрастающим внутриклеточным уровнем активных форм кислорода при смене типа метаболизма с гликолиза, преобладающего у ЭСК, на митохондриальное дыхание у НСК. Облучение является фактором генотоксического стресса для СК, индуцируя стабильные наследуемые ХА, сохраняющиеся в потомках облученных клеток и являющиеся потенциальным триггером канцерогенеза.

**ЧАСТОТЫ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТРАНСЛОКАЦИЙ
В КУЛЬТУРАХ ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ ЗДОРОВЫХ ДОНОРОВ
ПРИ АНАЛИЗЕ С ПОМОЩЬЮ ТРЁХЦВЕТНОГО FISH-МЕТОДА
(ДВА РАЗНЫХ НАБОРА ДНК-ЗОНДОВ)**

*В.Ю.Нугис¹, Г.П.Снигирёва², М.Г.Козлова¹, В.А.Никитина¹,
Е.Е.Ломоносова¹, Е.И.Добровольская¹*

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный
медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва

²Российский научный центр рентгенорадиологии Минздрава РФ, Москва, Россия
nugisvju@list.ru

Для ретроспективной оценки дозы с помощью цитогенетического подхода в настоящее время обычно используется одноцветная FISH-методика. При этом для учёта обменов между FISH-окрашенными хромосомами необходимо применить трёхцветный вариант FISH-метода.

Цель данного исследования состояла в построении дозовых кривых для трёхцветного FISH-метода.

Материалы и методы. Исходным материалом послужили результаты цитогенетического анализа культур лимфоцитов венозной крови 3 здоровых доноров (двое мужчин в возрасте 35 и 41 года и женщина в возрасте 28 лет) после воздействия *in vitro* гамма-лучами ⁶⁰Со при комнатной температуре на терапевтической установке «Луч» в дозах от 0,10 до 3,00 Гр (мощность дозы – 0,5 Гр/мин). Одна проба каждого донора оставалась необлучённой для регистрации контрольного уровня аберраций хромосом. Облучённая и необлучённая кровь была использована для постановки в стерильных условиях культур лимфоцитов периферической крови и получения препаратов хромосом в соответствии с принятыми в лаборатории методиками, в целом аналогичными подходам, представленным в рекомендациях МАГАТЭ. Окрашивание препаратов производили в соответствии с трёхцветным FISH-методом с использованием отдельно двух наборов флуоресцентных ДНК-зондов для 1, 4 и 12 и для 2, 3 и 8 пар хромосом. Сам анализ аберраций хромосом был произведен с помощью автоматизированной системы «Метафер 4» (фирма «МетаСистемс», Германия).

Результаты. Полученные цитогенетические данные были подвергнуты статистической обработке с помощью пакета программ Statistica 6.0. По методу t-критерия Стьюдента с попарно связанными вариантами продемонстрировано отсутствие существенных отличий между величинами индуцированных частот транслокаций, выявленных с помощью использованных двух разных наборов ДНК-зондов. При этом цитогенетический анализ только стабильных метафазных клеток выявлял тенденцию к регистрации более низких уровней аберраций хромосом, чем при анализе всех (нестабильных и стабильных) клеток при наиболее высоких уровнях доз: для наборов ДНК-зондов к 1, 4 и 12 и 2, 3 и 8 парам хромосом это расхождение было статистически значимым при дозах 2 и 3 Гр соответственно. С помощью регрессионного анализа по методу наименьших квадратов были получены отдельные линейно-квадратичные уравнения для разных наборов ДНК-зондов и для цитогенетического анализа в метафазах разного типа (все и стабильные клетки), а также объединённые (независимо от типа используемого набора ДНК-зондов) связи для уровней аберраций хромосом во всех и стабильных клетках.

Выводы. Получены кривые доза-эффект для ретроспективной оценки дозы с помощью трёхцветного FISH-метода. Показано отсутствие различий в уровнях индуцированных транслокаций при использовании двух разных наборов ДНК-зондов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХРОМОСОМНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ И СТРУКТУРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ *HPRT*-ГЕНА В КЛЕТКАХ КИТАЙСКОГО ХОМЯЧКА ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ

Д.В. Петрова¹, Н.А. Кошлань¹, П. Блага^{1,2}, Ю.В. Богданова¹, Р.Д. Говорун¹,
И.В. Кошлань^{1,3}

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Чешский технический университет в Праге, Чешская Республика

³Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия, edv-@mail.ru

Воздействие ионизирующих излучений на клетки приводит к различным повреждениям, мутациям и гибели. Одним из проявлений данного воздействия является радиационно-индуцированная нестабильность генома, проявляющаяся в увеличении частоты хромосомных aberrаций, мутаций генов, возникновении микроядер, апоптотических клеток и клеточных трансформаций. В настоящее время механизмы возникновения радиационно-индуцированной нестабильности генома до конца не изучены.

Цель: исследование отдаленных проявлений в клетках китайского хомячка хромосомной нестабильности, мутагенеза и структурных повреждений *hprt*-гена после воздействия γ -излучения ^{60}Co в разных дозах.

Материалы и методы: работа выполнена на культуре клеток китайского хомячка линии V-79. Клетки облучали γ -квантами ^{60}Co на установке «Рокус-М» (ЛЯП, ОИЯИ) в дозах 0,5; 1; 2; 5 и 7 Гр. После облучения их высевали в питательную среду и культивировали при температуре 37°C до 40 суток. Каждые 3-е суток клетки пересевали. Цитогенетический анализ клеток проводили общепринятым метафазным методом. Анализ структурных повреждений *hprt*-гена выполнен с помощью PCR-метода. HPRT-мутанты выявляли при каждом пересеве с помощью специальной тест-системы, основанной на том, что клетки, имеющие мутацию в *hprt*-гене, выживают после воздействия токсичного для нормальных клеток пуринового аналога 6-тиогуанина.

Результаты: Максимум выхода клеток с хромосомными aberrациями наблюдался в первые сутки после облучения. В дальнейшем этот показатель снижался и достигал контрольного значения в разное время исследования в зависимости от дозы γ -излучения. Преобладающими видами aberrаций являлись: дицентрики, хроматидные и хромосомные фрагменты и соединения сестринских хроматид. Их вклад в общее число aberrаций изменялся со временем и зависел от дозы излучения. Максимальная частота радиационно-индуцированного мутагенеза зафиксирована на 3 сутки после γ -излучения. Обнаружена её зависимость от дозы ($3 \times 10^4 - 0,5$ Гр; $6 \times 10^4 - 7$ Гр). При дальнейшем культивировании этот показатель снижался и достигал контрольного значения для всех доз γ -облучения Co^{60} .

Анализ структурных повреждений *hprt*-гена выполнен для 548 мутантных субклонов. Среди спонтанных мутантов преобладали образцы с точковыми мутациями (до 95%), остальные образцы имели частичную делецию гена. У радиационно-индуцированных мутантов встречены образцы с полной делецией гена (19%). При этом, максимальный выход мутантов с тотальной делецией гена характерен для образцов облученными высокими дозами γ -излучения.

Выводы: Обнаружена корреляция между выходом клеток с хромосомными aberrациями и частотой HPRT-мутагенеза при облучении γ -квантами Co^{60} . Для спонтанных мутантов характерно преобладание точковых мутаций, для радиационно-индуцированных наблюдается появление мутантов с полной делецией гена. Полученные данные свидетельствуют о возникновении и длительном сохранении нестабильности генома в отдаленных потомках облученных клеток.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОКУСОВ γ H2AX В ФИБРОБЛАСТАХ ЛЕГКОГО ЭМБРИОНА ЧЕЛОВЕКА, ИНКУБИРОВАННЫХ В СРЕДАХ, СОДЕРЖАЩИХ МЕЧЕННЫЕ ТРИТИЕМ ТИМИДИН ИЛИ АМИНОКИСЛОТЫ

Роднева С.М.¹, Осипов А.А.^{1,2}, Гурьев Д.В.^{1,2}, Цишинатти А.А.¹, Федотов Ю.А.^{1,2}, Яшкина Е.И.¹, Воробьева Н.Ю.^{1,2}, Максимов А.А.¹, Кочетков О.А.¹, Осипов А.Н.^{1,2}

¹ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва

² Институт химической физики имени Н.Н. Семёнова Российской академии наук, Москва, Россия

sontyaga@yandex.ru

Целью настоящего исследования было сравнительное изучение индукции двунитевых разрывов (ДР) ДНК по фокусам γ H2AX в культивируемых фибробластах легкого человека после их инкубации в течение 24 ч в среде, содержащей меченные тритием тимидин или аминокислоты (аланин, глицин, и пролин) с различной удельной радиоактивностью.

Материалы и методы В качестве экспериментальной модели была использована клеточная линия MRC-5 (ATCC, USA), которая представляет собой хорошо охарактеризованные фибробласты легкого эмбриона человека, часто используемые в радиобиологических исследованиях. В зависимости от условий эксперимента в питательную среду добавляли стерильные растворы, содержащие ^3H -тимидин, ^3H -глицин, ^3H -аланин и ^3H -пролин для получения удельной конечной радиоактивности 100, 200, 300 и 400 МБк/л. Инкубация клеток в среде с органическими соединениями трития проводилась в течение 24 ч при стандартных условиях CO_2 -инкубатора. Для подсчета количества фокусов γ H2AX использовали программу DARFI. Анализировали не менее 200 клеток на каждую экспериментальную точку.

Результаты Эксперименты по сравнительному количественному анализу фокусов γ H2AX в клетках MRC-5 при их 24 ч инкубации в данных растворах с различной удельной радиоактивностью позволили установить, что зависимости описываются линейными уравнениями.

Сравнение угловых коэффициентов с помощью Z-теста показало статистически значимые различия между количественным выходом ДР ДНК в клетках при инкубации их в среде, содержащей ^3H -тимидин по сравнению с ^3H -мечеными аминокислотами глицином, аланином и пролином ($p < 0.001$, $z = 4.5, 4.47, 5.66$, соответственно). В целом, в пересчете на единицу удельной радиоактивности ^3H -тимидин вызывает в одной клетке более чем в 2 раза большее количество фокусов ДР ДНК, чем меченые тритием аминокислоты.

Также, значимые различия выявлены между эффектами в клетках, инкубированных в среде, содержащей ^3H -аланин и ^3H -пролин ($z = 2.1$, $p = 0.02$). После инкубации клеточной культуры с ^3H -аланином количественный выход ДР ДНК был на 30% выше по сравнению с ^3H -пролином. Достоверных различий между количественным выходом ДР ДНК при инкубации клеток с ^3H -меченым глицином и ^3H -аланином выявлено не было.

Выводы Проведенные исследования показали, что при одинаковой удельной радиоактивности с аминокислотами, ^3H -тимидин за счет его высокой концентрации в ядре клетки и непосредственного включения в структуру ДНК, оказал более серьезное повреждающее действие на генетический материал клетки, что полностью согласуется с предыдущими исследованиями, а эффект от ^3H -аминокислот зависит от степени их включенности в структуру белков хроматина.

ПОВЫШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА МИКРОЯДЕР В КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА ПОСЛЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО γ ,n-ОБЛУЧЕНИЯ МЫШЕЙ В МАЛЫХ И НИЗКИХ ДОЗАХ

*А.Н. Романцова, А.С. Дегтярёв, А.С. Жирник, О.Д. Смирнова, А.В. Родина,
Е.Ю. Москалева*

НИЦ «Курчатовский институт» Москва, Россия
Romantsova_AN@nrcki.ru

Профессиональная деятельность в сфере атомной энергетики и ядерной медицины может сопровождаться облучением людей в малых и низких дозах ионизирующих излучений. Этот диапазон характеризуется неопределенностью данных о возможности формирования таких повреждений генома, которые могут приводить к появлению мутаций, злокачественной трансформации клеток и развитию опухолей в отдаленный период после облучения.

Целью работы явилось изучение опасности малых и низких доз пролонгированного γ ,n-излучения, оцениваемой по появлению цитогенетических нарушений в клетках костного мозга – по увеличению количества микроядер (МЯ) в полихроматофильных эритроцитах (ПХЭ) мышей линии C57BL/6.

Материалы и методы. Пролонгированное γ ,n-облучение мышей проводили с использованием нескольких Pu-Be радионуклидных источников, расположенных в пространстве таким образом, чтобы было смоделировано поле нейтронов и гамма-квантов в клетке с биообъектами, близкое к равномерному. Энергетические спектры поглощенной дозы излучений измерены с помощью цифрового спектрометра-дозиметра нейтронов и гамма-квантов. Мышей линии C57BL/6 облучали в дозах 0,005; 0,01; 0,05; 0,1 и 0,5 Гр при мощности дозы 2,13 мГр/ч. Спустя 24 ч животных умерщвляли, извлекали клетки костного мозга из большой берцовой кости при вымывании 0,5 мл эмбриональной телячьей сыворотки, собирали их при центрифугировании и готовили мазки костного мозга. Препараты фиксировали и окрашивали азур-эозином. Подсчитывали количество ПХЭ с МЯ и рассчитывали процентное содержание ПХЭ и НХЭ. Статистическую обработку результатов проводили по методу Стьюдента с использованием компьютерной программы "Origin". Достоверными считали результаты при $p < 0,05$.

Результаты. Обнаружено, что пролонгированное γ ,n-облучение в диапазоне малых доз – в дозах 0,005; 0,01; 0,05 Гр - вызывало изменение в соотношении ПХЭ и НХЭ: доля ПХЭ при этих дозах достоверно снижалась с $50,7 \pm 2,1\%$ в контроле до $29,9 \pm 3,4\%$, $32,7 \pm 4,8\%$ и $37,9 \pm 4,1\%$ после облучения соответственно, а при дозах 0,1 и 0,5 Гр она не отличалась от контроля. После γ ,n-облучения в дозе 0,005 Гр количество МЯ было снижено по сравнению с контролем, при дозах 0,01; 0,05; 0,1 и 0,5 Гр оно возрастало с $4,5 \pm 0,4 \text{ ‰}$ до $7,4 \pm 0,8 \text{ ‰}$, $6,8 \pm 0,6 \text{ ‰}$, $6,7 \pm 0,8 \text{ ‰}$ и $8,6 \pm 0,9 \text{ ‰}$ соответственно ($p < 0,05$). В этом диапазоне доз количество МЯ не зависело от дозы пролонгированного γ ,n-облучения. Временное, быстро проходящее снижение количества лейкоцитов крови наблюдалось через 24 ч только после облучения мышей в дозах 0,1 и 0,5 Гр с $13,0 \pm 0,4$ до $10,5 \pm 0,9$ и $9,5 \pm 0,8$ тысяч клеток/мкл соответственно.

Выводы. Обнаружено появление цитогенетических повреждений в клетках костного мозга (в ПХЭ) мыши при пролонгированном общем γ ,n-облучении животных в малых (0,01; 0,05 Гр) и низких (0,1 и 0,5 Гр) дозах. При облучении мышей в дозе 0,005 Гр обнаружено снижение спонтанного уровня МЯ. Зависимость повышения количества МЯ от дозы γ ,n-облучения в этом диапазоне доз отсутствовала.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ ОПУХОЛЕЙ, У ОБЛУЧЕННЫХ МЫШЕЙ

Д. В. Салеева¹, В. Ф. Михайлов¹, Л. М. Рождественский¹, Л. В. Шуленина¹,
Н. Ф. Раева¹, А. Ф. Аккуратова¹, Г. Д. Засухина^{1,2}

¹ ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна
ФМБА России, Москва, Россия

² Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия
dasha_saleeva@inbox.ru

Онкотрансформация клеток связана со структурными нарушениями генов, кодирующих белки и регуляторные РНК, и изменениями их экспрессии. Исследование этих генетических и эпигенетических изменений является актуальной задачей, поскольку эти изменения могут выступать в качестве показателей риска развития опухолей.

Целью нашей работы явилось изучение изменения экспрессии генов и некодирующих РНК в костном мозге (КМ) мышей в отдаленные сроки после воздействия низкоомощностного пролонгированного облучения.

Материалы и методы. В работе использовали мышей-гибридов (CBA × C57Bl) F1, облученных в дозе 12.6 Гр (10 мГр/мин). После облучения определяли профили экспрессии мРНК генов (*p53*, *PTEN*, *TNFα*, *NFκβ(p50)*, *NFκβ(p65)*, *G-SCF*, *IAP-1*, *IAP-2*, *IkBa*, *iNOS*, *TAL1*, *CTCF*), днРНК (*NEAT1*, *MALAT1*, *DINO*, *lnc p21*) и микроРНК (*miR-21*, *miR-125b*, *miR-145*) в КМ мышей на 8 и 10 месяцы после облучения с помощью метода ПЦР-РВ.

Результаты. На 8 месяц после облучения в КМ мышей отмечается увеличение экспрессии генов *NFκβ(p50)* и *NFκβ(p65)* и его генов – мишеней (*iNOS*, *G-SCF*), контролирующих пролиферацию и сохранение клеток с поврежденным геномом, что позволяет злокачественным клеткам сохранять способность к выживанию. В то же время отмечается значительное снижение активности *miR-125b* (8,3 раза), действующей в команде с геном *NFκB*.

К 10 месяцу наблюдается появление злокачественных лимфом в печени, брюшной полости и подкожно. При исследовании КМ этих мышей гены и микроРНК, обладающие свойствами онкогенов (*NFκB(p65)*, *TAL1*, *lnc NEAT1* и *miR-125b*), либо онкосупрессоров (*PTEN*, *lnc p21*) снижают свою активность. У таких животных изменение экспрессии РНК показателей может быть связано не только с облучением, но и проникновением в КМ выделяемых опухолями «онкосом», изменяющих экспрессию генов, отвечающих за сохранение стабильности генома.

Применение регрессионного анализа показало, что уровень экспрессии *NFκB*, определяемый на 8 месяц в КМ облученных мышей коррелировал с последующим выходом лимфом на 10 месяц после воздействия радиации ($R=0.9$; $p<0.05$).

Выводы. Таким образом, изменение активности генов, днРНК и микроРНК, участвующих в развитии злокачественных образований, может свидетельствовать о пластичности клеток не только в микроокружении опухоли, но и в КМ.

На примере активностей гена *NFκB* и *miR-125b* показано, что изменение их экспрессии на более ранних сроках после облучения может являться предиктором развития опухолей на более поздних сроках.

Изучение экспрессии генов и некодирующих РНК и их взаимодействия важно для понимания процессов канцерогенеза, и в перспективе может использоваться в качестве показателей риска развития лимфом и терапевтических мишеней для лечения новообразований.

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ОЛИГОФРАКЦИОНИРОВАННОГО ПРОТОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РОСТ СОЛИДНОЙ КАРЦИНОМЫ ЭРЛИХА И ОТДАЛЕННЫЕ ЛУЧЕВЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ У МЫШЕЙ

*Е.Н. Смирнова¹, Т.А. Белякова², В.Е. Балакин², О.М. Розанова¹, С.И. Заичкина¹,
Н.С. Стрельникова², А.Е. Шемяков^{1,2}, С.С. Сорокина¹*

¹ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия

² Физико-технический центр Физического института им. П.Н.Лебедева РАН,

Протвино, Россия

smirnova.elena04@gmail.com

Наиболее перспективным направлением в протонной терапии (ПТ) является апробация режимов гипофракционирования и даже применения 1–2 фракций, что приводит к повышению разовой дозы облучения опухоли и позволяет сократить продолжительность лечения, что также дает возможность преодоления радиорезистентности опухолей и снижения частоты рецидивирования. Технология тонкого сканирующего пучка протонов (ТСПП) позволяет снизить интегральную лучевую нагрузку на тело пациента по сравнению с другими методами протонной и современной фотонной лучевой терапии.

Целью данного исследования является изучение действия двукратного облучения ТСПП в суммарных дозах 60 и 80 Гр на рост солидной формы асцитной карциномы Эрлиха (АКЭ) и его отдаленных последствий (продолжительность ремиссии, частота рецидивов, лучевые реакции кожи, средняя продолжительность жизни (СПЖ)) у мышей-опухоленосителей.

Эксперименты проводили на самцах мышей колонии SHK (24–28 г), в каждой группе было по 30 животных. На 5-й день после инокуляции клеток АКЭ проводили локальное облучение опухолевого узла в водном фантоме ТСПП с двух встречных направлений сканированием по заданному объему ткани в пике Брэгга на терапевтическом комплексе ПТ «Прометеус» (ФТЦ ФИАН, Протвино). Объем облучаемой мишени рассчитывали по томограмме мыши и с помощью планирующей системы задавали определяемый объем опухоли (GTV), равный среднему размеру 0.47 см³. Облучение проводили двумя фракциями по 30 Гр или 40 Гр с интервалом 24 ч.

При сравнении облучений в суммарных дозах 60 и 80 Гр на скорость роста АКЭ в течение месяца различий выявлено не было. В группе 80 Гр наблюдали регресс опухолевого узла у 100% мышей, а в группе 60 Гр – у 77%. В обеих группах значимых различий в динамике гибели мышей не наблюдалось, но максимальная продолжительность жизни для группы 80 Гр составила 21 мес по сравнению с 15 мес в группе 60 Гр. Медиана продолжительности жизни для группы 80 Гр составила 154 сут, а для 60 Гр – 114 сут. Облучение по схеме 40+40 Гр оказалось намного эффективнее в отношении рецидивов: 60% мышей с 8 до 21 мес были без опухолей по сравнению с 30% в группе, облученной по схеме 30+30 Гр. Средняя продолжительность безрецидивного периода в группах была примерно одинаковой. Лучевые реакции кожи у мышей, получивших 80 Гр, были выражены значительно сильнее как по частоте встречаемости, так и по тяжести протекания, по сравнению группой 60 Гр.

Получены важные характеристики противоопухолевой эффективности режима двукратного облучения ТСПП суммарно в дозе 80 Гр для модели солидной формы АКЭ: возможность полной регрессии первичных опухолей, в два раза снижение частоты рецидивов, увеличение медианы продолжительности жизни на 35%, по сравнению с группой 60 Гр.

РОЛЬ МЕТИЛИРОВАНИЯ *Bak1* В ИНДУКЦИИ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

*О. С. Цымбал*¹, *Д. С. Исубакова*¹, *Е. В. Брони́ковская*¹, *Н. В. Литвяков*^{1,2},
И. В. Мильто^{1,3}, *Л. Р. Тахауова*³, *М. В. Халюзова*¹, *Р. М. Тахауов*^{1,3}

¹Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск, Россия

²НИИ онкологии Томского НИМЦ РАН, Томск, Россия

³Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, Томск
olga-tsymbal@mail.ru

Ионизирующее излучение является неблагоприятным фактором, воздействующим на организм работников предприятий атомной отрасли. Как правило, работники подвергаются низкоинтенсивному облучению в суммарной дозе до 1 Зв. Влияние ионизирующего излучения на соматические клетки (лимфоциты крови человека) чаще всего проявляется повреждением структуры ДНК. В ответ на это повреждение активируются процессы репарации, при нарушении которых образуются различные хромосомные aberrации. При невозможности устранения радиогенных повреждений ДНК в клетке запускается запрограммированная гибель – апоптоз. Регуляция апоптоза осуществляется белками семейства Bcl-2: индукторами и ингибиторами, одним из которых является *Bak*. Поддержание геномной стабильности, регуляция экспрессии генов и другие процессы связаны со статусом метилирования ДНК (в т. ч. области промотора), который изменяется под воздействием ионизирующего излучения. Сведения о влиянии ионизирующего излучения на статус метилирования промотора *Bak* в современной научной литературе отсутствуют.

Цель данного исследования – изучение связи статуса метилирования промотора *Bak1* с частотой хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови человека при хроническом низкоинтенсивном облучении.

Материалы и методы. В исследование включены работники (41 человек) Сибирского химического комбината, которые в ходе профессиональной деятельности подвергались хроническому низкоинтенсивному внешнему облучению (γ -излучение). Исследуемые работники были разделены на 2 группы: без облучения и с внешним облучением (89–716 мЗв). В лимфоцитах крови работников обеих групп оценивали частоту хромосомных aberrаций, а именно ацентрические хроматидные фрагменты и парные хромосомные фрагменты, кольцевые и дицентрические хромосомы, а также хроматидные обмены. Из цельной крови исследуемых выделялась ДНК. Статус метилирования промотора *Bak1* устанавливался с помощью метилчувствительной ПЦР (метилчувствительная рестриктаза AoxI). Электрофорез продуктов ПЦР проводился в 2,5 % агарозном геле.

Результаты. Статус метилирования промотора *Bak1* у работников обеих групп не отличается ($p = 0,18$). Неметилированный промотор *Bak1* преобладает у работников, имеющих среднюю дозу внешнего облучения $273,37 \pm 43,82$ мЗв, а метилированный промотор *Bak1* – у работников с дозой $183,63 \pm 20,58$ мЗв ($p = 0,03$). В лимфоцитах крови работников обеих групп, имеющих неметилированный промотор *Bak1*, отмечается повышенная частота ацентрических хроматидных фрагментов ($p = 0,03$).

Выводы. Оценка статуса метилирования промотора *Bak1* в лимфоцитах крови человека показала, что неметилированный промотор *Bak1* ассоциирован с повышенной частотой ацентрических хроматидных фрагментов. Более высокие дозы внешнего облучения приводят к частичному или полному деметилированию промотора *Bak1*.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №1363 от 25.06.2019 г.)

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ *ADAMTS1*, *RBFOX2*, *THBS1* И *WHSC1* В КАЧЕСТВЕ БИОМАРКЕРА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

*Р. Р. Савченко*¹, *С. А. Васильев*¹, *В. С. Фишман*², *Е. С. Сухих*³, *О. В. Грибова*⁴,
*Ж. А. Старцева*⁴, *А. А. Мурашкина*⁵, *А. В. Дорофеева*⁶, *Д. М. Шункова*⁶, *И. Н. Лебедев*¹

¹НИИ медицинской генетики Томского НИМЦ, г. Томск, Россия

²Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Томский областной онкологический диспансер, г. Томск, Россия

⁴НИИ онкологии Томского НИМЦ, г. Томск, Россия

⁵Томский государственный университет, г. Томск, Россия

⁶Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия

renata.savchenko@medgenetics.ru

Одним из перспективных направлений радиационной генетики является поиск генетических маркеров, позволяющих прогнозировать персональную радиочувствительность пациентов, а также опухолевую радиочувствительность. Проведенный нами ранее микроматричный анализ позволил выделить уровни экспрессии генов *ADAMTS1*, *RBFOX2*, *THBS1* и *WHSC1* в качестве потенциальных биомаркеров частоты хромосомных повреждений в клетках человека.

Цель исследования заключалась в анализе влияния дифференциальной экспрессии генов *ADAMTS1*, *RBFOX2*, *THBS1* и *WHSC1* на формирование радиационно-индуцированного клеточного ответа.

Материалы и методы. Исследования выполнены на клеточных линиях HeLa с нокаутом генов *ADAMTS1*, *RBFOX1*, *THBS1* и *WHSC1*, созданных с помощью технологии редактирования генома CRISPR/Cas9, и образцах лимфоцитов здоровых индивидов в возрасте $35,8 \pm 12,9$ лет ($n=58$). Воздействие γ -излучения ^{60}Co в дозах 2-8 Гр с мощностью дозы 1 Гр/мин проведено с помощью терапевтического аппарата Theratron Equinox. В качестве маркеров радиочувствительности анализировались уровень фокусов γH2AX и 53BP1 и частоты центромеро-негативных и центромеро-позитивных микроядер. Уровень экспрессии генов оценивался с помощью ПЦР в реальном времени.

Результаты. Клеточные линии с нокаутом *THBS1* и *WHSC1* характеризовались снижением эффективности посева в 1,4 и 1,7 раз, соответственно ($p<0,001$), а клональная выживаемость снижалась при нокауте генов *ADAMTS1*, *RBFOX2* и *WHSC1* в 1,9, 1,8 и 1,6 раз, соответственно ($p<0,001$). Не было выявлено различий в уровне спонтанных фокусов белков репарации ДНК, однако при нокауте *THBS1* в 2,5 раза возрастала частота радиационно-индуцированных микроядер ($p=0,01$). В лимфоцитах здоровых индивидов частота микроядер коррелировала с экспрессией генов *ADAMTS1* ($R=-0,52$, $p=0,033$), *THBS1* ($R=-0,52$, $p=0,03$) и *WHSC1* ($R=-0,37$, $p=0,032$) в необлученных клетках и с экспрессией генов *THBS1* ($R=-0,53$, $p=0,033$) и *RBFOX2* ($R=-0,30$, $p=0,027$) после облучения. Оценка уровня экспрессии анализируемых генов позволила идентифицировать лиц с повышенной частотой радиационно-индуцированных микроядер в группах мужчин ($p=0,0003$), женщин ($p=0,048$) и объединенной выборке ($p=0,0009$).

Заключение. Нокаут генов *ADAMTS1*, *RBFOX2*, *THBS1* и *WHSC1* влияет на жизнеспособность необлученных и облученных клеток. Анализ уровня экспрессии изучаемых генов позволяет выявить индивидов с повышенной частотой радиационно-индуцированных микроядер, однако использованная модель требует проверки на независимой выборке с учётом пола индивидов.

Исследование выполнено при поддержке Гранта Президента МК-5944.2018.4 и гранта РФФИ № 19-34-90143.

РОЛЬ TLR4/NF- κ B СИГНАЛЬНОГО ПУТИ В РАДИОЗАЩИТНОМ ДЕЙСТВИИ ЭКЗОГЕННОГО ПЕРОКСИРЕДОКСИНА-6

*М. Г. Шарпов¹, О.В. Глушкова¹, С.Б. Парфенюк¹, С.В. Гудков^{2,3},
Е.Г. Новоселова¹*

¹ Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Россия

² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

³ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний
Новгород, Россия
sharapov.mg@yandex.ru

Пероксиредоксин 6 (Prx6) представитель относительно недавно открытого семейства селен-независимых пероксидаз, который способен восстанавливать широкий спектр гидропероксидов как органической, так и неорганической природы. Кроме пероксидазной активности для Prx6 показана фосфолипазная активность, которая играет важную роль в метаболизме фосфолипидов и передаче внутриклеточных / межклеточных сигналов. Для рекомбинантного Prx6 был показан радиозащитный эффект, который обусловлен как пероксидазной активностью, так и сигнально-регуляторной функцией.

Целью данной работы является оценка роли TLR4 / NF- κ B сигнального пути в радиозащитном действии рекомбинантного Prx6.

Материалы и методы. Получен рекомбинантный белок Prx6 и его мутантная форма C47S, не обладающая пероксидазной активностью. Экспериментальные исследования выполнены на культуре клеток эмбриональных фибробластов 3Т3 дикого типа и с подавленным геном эндогенного PRDX6. Для оценки взаимодействия Prx6 с рецептором TLR4 использовали ингибиторы OхРАРС (экстраклеточный домен TLR4) и CLI-095 (внутриклеточный домен TLR4). Клетки подвергали тотальному рентгеновскому облучению (16 Гр) на установке РУТ-15 (4 Гр/мин). Исследовалась выживаемость клеток, экспрессия маркерных генов и уровень белков-маркеров после облучения и предварительного введения Prx6, C47S, а также ингибиторов TLR4.

Результаты. Введение Prx6 (100 мкг/мл) к культуре клеток 3Т3 (100 млн) перед облучением практически нивелирует негативное воздействие рентгеновского излучения, способствуя росту выживаемости клеток на 50-60% и нормализации уровня экспрессии маркерных генов. Мутантная форма C47S также обладает защитным эффектом, способствуя выживаемости на 20-30%. Введение Prx6 и C47S способствует росту NF- κ B, причем уровень фосфорилированного по Ser536 возрастает примерно в 20 раз. Вероятно, с активацией NF- κ B, а также особенностью его фосфорилирования связан защитный сигнально-регуляторный эффект экзогенного Prx6 и C47S. Введение ингибиторов TLR4 перед внесением Prx6 и C47S подавляет радиозащитный эффект белков, что проявляется в снижении выживаемости клеток и приближении уровня экспрессии некоторых маркерных генов и белков (NF- κ B, TLR4, Caspase-3) к значениям контрольных клеток, облученных в дозе 16 Гр.

Выводы. Полученные данные подтверждают влияние экзогенного Prx6 и его мутантной формы C47S на TLR4 / NF- κ B сигнальный путь, приводящий к мощной активации NF- κ B (фосфорилированного по Ser536) и запуску процессов репарации в облученных клетках.

Работа поддержана грантами Российского Фонда Фундаментальных Исследований (19-04-00080 и 20-34-70037).

ОДНОКРАТНОЕ ОСТРОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ О НАЛИЧИИ РАДИОАДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЙ У *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.А. Юшкова

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

ushkova@ib.komisc.ru

Авария на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) привела к формированию хронического воздействия радиоактивно-загрязняющих веществ, способных в различной степени негативно влиять на организмы вследствие образования генетических повреждений и накопления мутаций. Несмотря на это устойчивость к хроническому облучению поддерживается определенными механизмами на разных ступенях биологической организации, что выводит популяции организмов на новые уровни пластичности и эволюционной адаптации. Одним из подходов к решению рассматриваемого вопроса считается изучение чувствительности к острому облучению потомков животных, чьи родители испытывали хронический радиоактивный стресс вследствие аварии на ЧАЭС.

Целью работы является исследование радиоадаптивных реакций и механизмов, лежащих в их основе, у потомков чернобыльских популяций *Drosophila melanogaster*, родители которых обитали в условиях длительного радиоактивного загрязнения.

Материалы и методы. Материалом служили потомки *D. melanogaster*, отобранные из природных популяций в 2007 году на территориях ЧАЭС с гетерогенным радиоактивным загрязнением, и поддерживаемые в лабораторных условиях на протяжении 160 поколений. Влияние родительского и острого облучения на потомство оценивали по уровням мутационного процесса (частотам доминантных (ДЛМ) и рецессивных сцепленных с полом мутаций (РСПЛМ)) и выживаемости. Для оценки наличия и активности полноразмерных транспозонов (*P* и *hobo*) использовали ПЦР анализ и тесты на локус-специфическую мутабельность. Острое облучение проводили от источников ^{60}Co (потомков F_1 и F_{16}) и ^{137}Cs (потомков F_{160}).

Результаты. Влияние острого облучения позволило выявить адаптивные реакции потомков из чернобыльских популяций практически по всем показателям. Частота ДЛМ после острого облучения была либо неизменной (у потомков из более загрязненных радионуклидами территорий), либо повышенной (у особей из слабо загрязненной территории). Повышенную радиорезистентность наблюдали по параметру “РСПЛМ”. В ответ на острое облучение у потомков всех популяций транспозиционная активность *P* элементов в основном была повышена. В то время как *hobo*-активность была нестабильна и зависела от родительского облучения.

Выводы. Полученные данные способствует пониманию генетических и эпигенетических механизмов (посредством траснспозонной активности) влияния родительской дозы облучения на здоровье и адаптационный потенциал популяций, испытывающих воздействие техногенно-повышенного радиационного фона.

Работа выполнена по теме НИР «Механизмы биогенной миграции радионуклидов и закономерности возникновения отдаленных последствий, индуцированных у растений и животных в условиях хронического радиационного и химического воздействия» (№ 0414-2018-0002, 0412-2018-0026).

СЕКЦИЯ № 2

МОЛЕКУЛЯРНО-КЛЕТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ.

МЕХАНИЗМЫ И ПРОГНОЗ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ

ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ

ОСОБЕННОСТИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В КЛЕТКАХ РАКА ЛЕГКОГО ЧЕЛОВЕКА ЛИНИЙ A549 И H1299, ВЫЖИВШИХ ПОСЛЕ МУЛЬТИФРАКЦИОНИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*Л. Алхаддад, М.В. Пустовалова, Н.М. Сметанина, А.К. Грехова, Т.М. Блохина,
Р.Н. Чупров-Неточин, А.Н. Осипов, С.В. Леонов*

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
lina-alhaddad@hotmail.com

Немелкоклеточный рак легких (НМРЛ) является наиболее часто диагностируемым раком в мире. Лучевая терапия (ЛТ) остается единственным локальным методом лечения НМРЛ. Однако радиорезистентность НМРЛ остается основным препятствием для долгосрочной выживаемости пациентов, перенесших ЛТ.

Целью данного исследования является изучение молекулярно-клеточных механизмов повышенной радиустойчивости НМРЛ.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на клеточных линиях A549 (p53 дикий-тип) и H1299 (p53-дефицитные). Для получения радиорезистентных клеточных линий A549IR и H1299IR был использован метод мультифракционированного рентгеновского облучения в общей дозе 60 Гр на установке РУБ Руст-М1 (мощность дозы 0.85 Гр/мин, сила тока 2.5 мА, напряжение 200 кВ) с последующим культивированием выживших клеток. Для сравнительного исследования радиобиологических эффектов между родительскими и выжившими субпопуляциями экспоненциально растущие клетки A549 и A549 IR, а также H1299 и H1299IR были подвержены дополнительному воздействию в дозах 2,4 и 6 Гр.

Результаты. Клетки H1299IR демонстрировали более выраженный подобный эпителиально-мезенхимальный переходу (ЭМП) фенотип по сравнению с клетками A549IR. Помимо этого, клетки A549IR демонстрировали в 2 раза больший клоногенный потенциал, чем родительские клетки A549 (p53 дикий-тип). Причем, клоногенный потенциал клеток H1299IR был в 7 раз ниже, чем родительских клеток H1299 (p53-дефицитные). Кроме того, клетки H1299IR показали статистически значимое снижение пролиферативной активности по сравнению с родительскими клетками H1299 (p53-дефицитные) ($p=0,02$ и $p=0,01$ соответственно). Статистически значимое дозозависимое снижение доли клеток Ki67+ отмечалось в родительских клетках A549 (p53 дикий-тип), подвергшихся однократным дозам 2, 4 и 6 Гр ($p=0,0075$, $p=0,002$ и $p=0,0035$ соответственно). Напротив, как родительские клетки H1299 (p53 дикий-тип), так и выжившие после облучения клетки H1299IR показали статистически незначимое снижение доли клеток Ki67+ после облучения во всех однократных дозах по сравнению с соответствующими контролями. Следует отметить, что экспрессия ABCG2 (маркер опухолевых стволовых клеток, ОСК) в облученных клетках H1299IR оставалась значительно выше, чем в родительских клетках H1299 (p53-дефицитные), подвергшихся воздействию любой однократной дозы ионизирующего излучения ($p=0,003$, $p=0,018$ и $p=0,007$ при 2, 4 и 6 Гр соответственно).

Выводы. В целом полученные результаты показали, что клетки A549IR и H1299IR по-разному реагируют на дополнительное облучение. Кроме того, данные этого исследования свидетельствуют о том, что статус p53 влияет на клоногенный потенциал и пролиферативную активность клеток НМРЛ, выживших после мультифракционированного облучения. Более того, было установлено, что p53 играет важную роль в фенотипе ОСК и радиорезистентности клеток НМРЛ, связанных с избыточной экспрессией ABCG2.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЕЖОРГАНИЗМЕННОМ ЭФФЕКТЕ СВИДЕТЕЛЯ У МЫШЕЙ

С. С. Андреев¹, А. Е. Алдибекова¹, И. Н. Козарко², В. В. Петушкова², А. В. Аклеев^{1,3}

¹ УНПЦ РМ ФМБА России, г. Челябинск, Россия

² ФИЦ ХФ РАН, г. Москва, Россия

³ Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия
andreevsss@mail.ru

Целью данного исследования является изучение возможности эффекта свидетеля на межорганизменном уровне у мышей.

Материалы и методы. Эксперименты были проведены на самках белых беспородных мышей стока CD1 в возрасте 2,5 мес. Облучение животных проводили на исследовательской гамма-установке ИГУР-1М с 4 источниками ¹³⁷Cs, мощность дозы 0,79 Гр/мин., неравномерность γ -поля в рабочем пространстве не более 5 %. Поглощенная доза для мышей составила 3,0 Гр. Облученных животных содержали с необлученными в одной клетке с перегородкой (только обонятельный контакт) или без перегородки (тактильный и обонятельный контакты). Оценивали у облученных, необлученных мышей и мышей-свидетелей: массу мышей, частоту эритроцитов с микроядрами, количество и клеточный состав лейкоцитов периферической крови на 3, 7, 14, 30, 60 и 90 сутки после начала эксперимента. В конце эксперимента (на 90-е сутки) животных забивали, определяли массу селезенки и тимуса, количество ядерных клеток в костном мозге, селезенке и тимусе, частоту эритроцитов с микроядрами в костном мозге. Проводили многофакторный дисперсионный анализ признаков сопряженности с применением обобщенной линейной модели.

Результаты. У облученных в дозе 3 Гр мышей были выявлены закономерные радиационно-индуцированные изменения в виде повышения количества эритроцитов с микроядрами, снижения количества лейкоцитов в периферической крови. Выявлены зависимые от времени изменения некоторых анализируемых показателей, которые чаще всего отражали процессы пострадиационного восстановления. На 90-е сутки после начала эксперимента было выявлено снижение массы и количества ядерных клеток в селезенке.

Показано, что обонятельное взаимодействие облученных и необлученных мышей приводило к снижению отношения полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) к нормальным эритроцитам (НХЭ) в периферической крови у облученных и необлученных мышей, к снижению относительного количества лимфоцитов и повышению относительного количества моноцитов и эозинофилов в периферической крови, по сравнению с показателями у облученных и необлученных мышей, которых содержали раздельно.

Тактильное и обонятельное взаимодействие облученных и необлученных мышей вызывало снижение массы тела и смягчение радиационно-индуцированного увеличения частоты эритроцитов с микроядрами в периферической крови у облученных мышей; снижение отношения ПХЭ/НХЭ в костном мозге, снижение количества ядерных клеток в костном мозге, а также снижение массы тимуса у облученных и необлученных мышей через 90 суток после начала эксперимента по сравнению с показателями у облученных и необлученных мышей, которых содержали раздельно.

Выводы. Полученные результаты указывают на то, что совместное содержание облученных и необлученных мышей приводит к изменению показателей состояния кроветворения у облученных и необлученных мышей-свидетелей, снижению уровня хромосомных aberrаций у облученных мышей-свидетелей, что может быть проявлением межорганизменного эффекта свидетеля.

ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ХИМЕРЫ ЧЕЛОВЕК-МЫШЬ ДЛЯ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕМОПОЭТИЧЕСКИХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА IN VIVO

Н.И. Атаманюк^{1,2}, Е.А. Пряхин¹, С.С. Андреев¹, А.Е. Алдибекова¹, Е.Л. Завьялов³

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

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

³ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия
vita_pulhura@mail.ru

Возможность моделировать человеческое кроветворение в моделях *in vivo* представляет большой интерес для радиобиологических исследований, поскольку гемопоэтические стволовые клетки (ГСК) определяют течение и исход костно-мозговой формы острой лучевой болезни, а также играют важную роль в развитии отдаленных последствий облучения.

Целью научно-исследовательской работы являлась разработка модели химеры человек-мышь для радиобиологических исследований гемопоэза человека *in vivo*.

Материалы и методы. Химерных животных получали путем внутривенной трансплантации человеческих ГСК иммунодефицитным мышам линии NOD SCID после предварительного облучения животных в дозе 2,5 Гр. ГСК человека, определяемые как CD34⁺ клетки, получали методом иммуномагнитной сепарации из пуповинной или периферической крови.

Результаты. Введение CD34⁺ клеток пуповинной крови предварительно облученным мышам NOD SCID позволило моделировать гемопоэз человека *in vivo* в течение длительного времени (от 70 сут.). Модель гемопоэза включала следующие элементы: самоподдерживающийся пул ГСК (человеческие CD34⁺ клетки в костном мозге химер), пул созревающих гемопоэтических клеток (человеческие CD45⁺ клетки в костном мозге химер), а также зрелые лимфоидные клетки (человеческие CD45⁺ клетки в периферической крови и селезенке химер, преимущественно лимфоциты и небольшое количество моноцитов). Для получения 50 % уровня химеризма в костном мозге животных (количество человеческих CD45⁺ клеток в костном мозге химеры составляет 50 % от числа всех CD45⁺ клеток) на 70-е сутки после трансплантации необходимо вводить 800 тыс. CD34⁺ клеток пуповинной крови.

При введении CD34⁺ клеток периферической крови в количестве не менее 200 тыс. клеток на одно животное человеческие клетки регистрировались в костном мозге животных, однако не формировали пула самоподдерживающихся ГСК.

Предложено использовать полученных химер для изучения влияния ионизирующего излучения и других факторов на гемопоэз человека *in vivo*. Было показано, что при облучении химер с прижившимися человеческими ГСК регистрируется закономерное снижение в костном мозге животных человеческих CD34⁺ и CD45⁺ клеток, а также был обнаружен повышенный уровень флуоресценции γ -H2AX (маркер двунитевых разрывов ДНК) в CD34⁺ клетках человека через 3 суток после облучения химер в дозе 1 Гр.

Выводы. Модель химерных животных с прижившимися человеческими ГСК может быть использована для изучения реакции человеческих ГСК на облучение, для оценки молекулярных маркеров радиационного воздействия в человеческих ГСК и зрелых CD45⁺ клетках, для оценки эффективности лекарственных средств защиты человека от ионизирующих излучений. Использование клеток пуповинной крови позволяет моделировать человеческий гемопоэз в течение длительного времени, клетки периферической крови пригодны для краткосрочных тестов.

ЧАСТОТА ЛИМФОЦИТОВ С МИКРОЯДРАМИ У ВНУТРИУТРОБНО ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ

Ю.Р. Ахмадуллина^{1,2}

Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Челябинск, Россия
akhmadullina.yul@yandex.ru

В результате техногенного загрязнения поймы р. Течи в Челябинской области облучению подверглось население разных периодов онтогенеза, включая и внутриутробный период развития. Облучение было внешним (равномерное гамма-облучение) и внутренним. Внутреннее облучение эмбриона и плода формировалось преимущественно за счет равномерного распределения ¹³⁷Cs и неравномерного облучения красного костного мозга (ККМ) - за счет накопления в костной ткани плода ^{89,90}Sr. Известно, что клетки с микроядрами могут свидетельствовать о радиационно-индуцированной нестабильности генома и служить маркером радиационного воздействия.

Целью данного исследования являлось изучение частоты клеток с микроядрами у внутриутробно облученных лиц в отдаленный период радиационного воздействия.

Материалы и методы.

Радиационное воздействие внутриутробно облученных лиц началось в период антенатального развития и продолжилось постнатально. Группу внутриутробно облученных лиц составили 110 человек (70 женщин), средний возраст составил 60 лет. За период антенатального и постнатального развития средняя доза облучения ККМ составила $0,32 \pm 0,05$ Гр, доза на мягкие ткани - $0,02 \pm 0,004$ Гр. В группе сравнения было 120 человек (84 - женщины), средний возраст - 60 лет.

Методом исследования являлся микроядерный тест с добавлением цитохалазина Б в культуральную среду. Подсчёт клеток проводился только среди двухъядерных лимфоцитов. Оценивалось количество двухъядерных лимфоцитов с микроядрами на 1000 просчитанных двухъядерных лимфоцитов.

Результаты.

Частота лимфоцитов с микроядрами у внутриутробно облученных женщин составила 12‰ (10 - 18‰), у внутриутробно облученных мужчин - 9 ‰ (6 - 12‰), что статистически значимо ниже, чем в группе сравнения, $p = 0,0001$. В контрольной группе частота лимфоцитов с микроядрами у женщин составила 17‰ (12 - 22‰), а у мужчин - 13‰ (9 - 20‰).

Таким образом, частота лимфоцитов с микроядрами у внутриутробно облученных лиц значимо ниже как среди женщин, так и среди мужчин относительно группы сравнения. Возможно, эти результаты свидетельствуют о широких компенсаторных и адаптационных возможностях организма в антенатальном периоде развития.

ОЦЕНКА ГЕНОТОКСИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В ТКАНЯХ С РАЗНЫМ ТЕМПЛОМ ПРОЛИФЕРАЦИИ У ЖИВОТНЫХ, ОБИТАВШИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА И У ИХ НЕОБЛУЧЕННЫХ ПОТОМКОВ

Л. А. Башлыкова, О. В. Раскоша

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

labashlykova@ib.komisc.ru

В связи с распространением загрязнения окружающей среды повысилась значимость оценки устойчивости биоты, испытывающей на себе действие техногенного радиоактивного загрязнения. Малые дозы ионизирующего излучения могут приводить к нестабильности генома, модифицировать клеточные и тканевые процессы, которые способны реализовываться на разных уровнях структурной организации, что в конечном итоге способствует изменению чувствительности организма к действию дополнительных нерадиационных факторов [Бурлакова, 2003; Воробцова, 2006; Жижина, 2011]. В рамках этой проблемы особого внимания заслуживают результаты изучения у мелких млекопитающих ответных реакций органов и тканей, обладающих разной пролиферативной активностью.

Цель работы – с учетом модифицирующего действия химического фактора (уретан) выявить возможные различия в ответной реакции клеток костного мозга и щитовидной железы у животных, обитающих в течение многих поколений в условиях повышенного радиационного фона, и у их необлученных потомков (F_1 - F_3).

Материалы и методы. В качестве вида-индикатора для изучения цитогенетических эффектов использовали полёвок-экономок (*Alexandromys oeconomus* Pallas), отловленных в природных условиях в Республике Коми на участках с нормальным и повышенным радиационным фоном (мощность внешнего γ -фона – 0,5-2,0 мР/ч), которых доставляли в виварий экспериментальных животных (<http://www.ckp-rf.ru/usu/471933/>) с целью получения потомства. Для оценки чувствительности к канцерогенному соединению полевок, отловленным на обоих участках, а также их потомкам, внутрибрюшинно вводили 10 %-ный раствор уретана (1 мг/г массы тела) и через 48 ч после окончания химического воздействия в костном мозге и в щитовидной железе анализировали частоту встречаемости клеток с микроядрами (микроядерный тест) и двунитевых разрывов ДНК (метод ДНК-комет).

Результаты. Цитогенетическое изучение клеток костного мозга и щитовидной железы полёвок-экономок, обитавших в условиях повышенного радиационного фона, показало эффективность хронического воздействия ионизирующего излучения в малых дозах, при этом более выраженные радиационно-индуцированные изменения отмечены в клетках костного мозга, обладающего высокой пролиферативной активностью. Обнаружена более высокая устойчивость к провокационному действию уретана клеток костного мозга полевок, отловленных на участке с повышенным радиационным фоном, что было прослежено и у их потомков по сравнению с контрольными животными. Результаты микроядерного теста, проведенного на клетках щитовидной железы, после дополнительной тест-нагрузки уретаном также свидетельствуют об устойчивости тироцитов ранее облученных животных. Оценка цитогенетического состояния исследуемых клеток у необлученного потомства, полученного от полевок-экономок, отловленных на участках с повышенным радиационным фоном, подтверждает проявление нестабильности генома в поколениях.

Работа выполнена в рамках ГЗ Института биологии Коми НЦ УрО РАН № ГР АААА-А18-118011190102-7.

МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ РАЙОНОВ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Д. В. Васильев, С. А. Гераськин

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

Здоровье и репродуктивная способность растений, а на популяционном уровне формы и направленность естественного отбора способны значительно изменяться при хроническом радиоактивном воздействии даже в низких дозах. Механизмы таких изменений сложны и могут сильно модифицироваться условиями произрастания растений в разных природных зонах. Поэтому корректная оценка эффектов хронического воздействия должна основываться на анализе результатов многолетних комплексных полевых экспериментов.

Целью данного исследования является оценка частоты и временной динамики цитогенетических эффектов у семенного потомства популяций сосны обыкновенной в районах с разным уровнем радиоактивного загрязнения.

Материалы и методы. Проведены исследования популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из районов Ленинградской АЭС, радиоактивного загрязнения в Брянской области, 30 км зоны Чернобыльской АЭС и территории Полесского радиационного заповедника. Оценена частота встречаемости цитогенетических эффектов у семенного потомства сосны обыкновенной и ее временная динамика.

Результаты. Результаты многолетних исследований позволили выявить повышенную частоту цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян сосны обыкновенной на импактных участках из разных регионов с разным уровнем и спектром антропогенного загрязнения. Если в районах радиоактивного загрязнения ЧАЭС причиной повышенной частоты aberrаций являются высокие уровни радиоактивного загрязнения, то в районе Ленинградской АЭС повышенная частота цитогенетических нарушений вызвана другими антропогенными факторами природу которых позволил выявить анализ спектра цитогенетических нарушений. Установлено, что загрязнение тяжелыми металлами атмосферного воздуха и почв в районе Ленинградской АЭС и города Сосновый Бор способно оказывать значительное мутагенное воздействие на популяции сосны сравнимое с таковым в районах радиоактивного загрязнения от ЧАЭС. Вместе с тем направленность изменений в этих исследованиях коренным образом отличается. Если частота цитогенетических нарушений на техногенно загрязненных участках Ленинградской области статистически значимо ($p < 0.05$) увеличивалась с течением времени, то на загрязненной радионуклидами территории Брянской области у популяций развивающихся в условиях хронического облучения со временем наблюдается тенденция к снижению частоты цитогенетических нарушений.

Выводы. Результаты настоящей работы свидетельствуют о том, что загрязнение среды обитания приводит не только к изменению средних популяционных показателей, но и дестабилизации их естественной временной динамики.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЖИЗНЕННЫХ РИСКОВ

*Е.В. Васильев, Е.А. Анненкова, А.П. Бирюков, Ю.В. Орлов, С.М. Думанский,
А.Р. Туков*

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия
e.vasilyev.v@gmail.com

Расчеты пожизненных рисков предполагают знание эмпирических моделей риска смерти и заболеваемости при отсутствии вредного фактора (фоновые модели) и модели риска смерти от всех причин. В настоящее время не существует каких-либо четких рекомендаций по выбору данных для построения нерадиационных моделей, поэтому оценки пожизненных рисков сопровождаются дополнительными неконтролируемыми погрешностями. В этой связи представляется целесообразным максимально использовать информацию, содержащуюся в современных радиационных регистрах.

Целью работы является разработка алгоритма уменьшения погрешности оценки пожизненного риска на основе деформируемых нерадиационных моделей («затравочных» моделей), отражающих общие закономерности российской смертности и заболеваемости, но с возможностью калибровки по выбранным данным.

Материалы и методы. При разработке алгоритма были использованы данные отраслевого регистра лиц – ликвидаторов аварии на ЧАЭС, ведущегося в ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Из регистра были отобраны лица с ненулевой дозой ионизирующего облучения, полученного в результате аварии, и состоящие на учете в регистре по крайней мере до 2017 года. В этой выборке 7324 мужчины и 655 женщин. В качестве опорных данных для калибровки использовалось количество смертей, произошедших с начала периода наблюдения до 1996, 2006, 2016 годов по всем причинам, а также от солидных раков и лейкозов. Радиационный риск рассчитывался по моделям НКДАР ООН 2006. Нерадиационные модели имеют калибровочные параметры, позволяющие деформировать модели без сильных потерь их предсказательных свойств. На основе свойства аддитивности пожизненных рисков сформирована целевая функция для нахождения оптимальных калибровочных параметров. Оптимизация проводилась с помощью алгоритма Левенберга-Маркварта.

Результаты. В работе предложен алгоритм, предназначенный для корректировок оценок пожизненных радиационных рисков по данным наблюдений за облученной когортой. Работоспособность алгоритма проверена с использованием отраслевого регистра ликвидаторов аварии на ЧАЭС. В частности, зафиксировано 30%-е расчетное увеличение оценки числа умерших от радиационно-индуцированных солидных раков при использовании калиброванных моделей (в качестве «затравочных» моделей использовались модели, построенные по общероссийским данным за 2010 год для общей смертности и за 2012 – по онкологической).

Выводы. Предлагаемый алгоритм расчета по калиброванным моделям дает надежные (если модели радиационного риска считать достаточно адекватными) оценки количества «чернобыльских» смертей для моментов времени, предшествующих текущему и, предположительно, более точные прогнозные оценки, по сравнению с алгоритмом расчета по некалиброванным моделям. Низкая чувствительность модели пожизненного риска к вариациям параметров фоновых моделей и модели общей смертности делает возможным применение калиброванных по регистру ликвидаторов моделей и к другим близким популяциям (работникам АЭС и др.).

ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ МЕМБРАН В *ZEА МАУS* И *CICER ARIETINUM*, СЕМЕНА КОТОРЫХ ПОДВЕРГЛИСЬ ПРЕДПОСЕВНОМУ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЮ

М.З.Велиджанова, Г.А.Годжаева, Э.С. Джафаров

Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан
mehriban.velijanova@gmail.com

Из результатов исследований становится очевидным, что общая стрессовая реакция растений на повреждающее действие абиотических факторов является формированием активных форм кислорода (в том числе и свободных радикалов) и возникновение окислительного стресса. Установлено, что окислительный стресс, прежде всего, влияет на биологическую структуру хлоропластов и митохондрий, в результате которого нарушаются их биологические функции. При этом имеет место и взаимодействие свободных радикалов с липидами мембран клетки. В результате такого взаимодействия по радикал – цепочечному механизму происходит окисление липидов. Показано, что окисление и повреждение мембран вызывает образованию нескольких конечных продуктов, а малоновый диальдегид (МДА) является одним из них. При этом степень структурных повреждений определяется уровнем этого продукта.

Учитывая, что ионизирующее излучение является стрессовым фактором, в представленной работе мы попытались исследовать реакцию разных растений на воздействие предпосевного гамма облучения семян и найти какие-то общие признаки адаптивного ответа. С этой целью семена кукурузы (*Zea mays* L.) и нута бараньего (*Cicer arietinum* L.) перед посевом облучали гамма лучами при разных дозах и в листьях проростков растений определяли содержание МДА. Степень структурных повреждений, вызванных перекисным окислением липидов мембран, определяли по содержанию МДА. Семена растений с использованием Со-60 были подвержены предпосевному облучению в дозах 1, 5, 10, 50, 100, 200, 300 Гр (во всех случаях мощность дозы облучения была 0,048 Гр/с)

Содержание МДА определяли по методу, в основе которого лежит реакция между продуктом перекисного окисления липидов и тиобарбитуровой кислотой. Как известно, в результате этой реакции при высокой температуре в кислой среде образуется окрашенный триметиновый комплекс.

Результаты по содержанию МДА в листьях кукурузы показали, что дозы облучения семян до 5 Гр не приводят к изменению в содержании продукта окисления липидов. Однако последующее увеличение дозы облучения от 5 до 300 Гр приводит к постепенному увеличению содержания МДА.

Можно предположить, что в малых дозах (от 1 до 5 Гр) предпосевного облучения не возникает окисление липидов мембран и, следовательно, не происходит интенсивное образование МДА. А в больших дозах (от 5 до 300 Гр) липиды мембран становятся мишенью для активных форм кислорода и свободных радикалов. При этом с увеличением дозы от 5 до 200 Гр постепенно увеличивается уровень МДА, а в области доз 200 – 300 Гр увеличение интенсивности стрессового воздействия не вызывает заметных изменений в его содержании.

Примерно такое же доза зависимое изменение содержания МДА демонстрирует *Cicer arietinum* L. И в этом случае дозы облучения от 1 до 5 Гр не вызывают окисление липидов мембран и, следовательно, не происходит интенсивное образование МДА. А в больших дозах липиды мембран становятся мишенью для активных форм кислорода и свободных радикалов, что сопровождается интенсивным образованием МДА.

Можно предположить, что ответные реакции исследованных нами растений к предпосевному облучению идентичны.

СХОДСТВО ТРАНСКРИПТОМНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ НА ХРОНИЧЕСКОЕ НИЗКОДОЗОВОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Волкова П.Ю.¹, Дуарте Г.Т.², Подлуцкий М.С.¹

¹ Всероссийский НИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

² Max Planck Institute of Molecular Plant Physiology, Potsdam-Golm, Germany
volkova.obninsk@gmail.com

Территории, загрязнённые в результате радиационных катастроф, предоставляют исследователям возможности для изучения последствий хронического облучения популяций растений в сочетании с другими антропогенными и экологическими стрессорами. Применение современных подходов функциональной генетики позволяет комплексно оценить последствия действия стрессоров, в частности, глобальные изменения экспрессии генов в тканях хронически облучаемых растений.

Цель исследования: выявление возможных детерминант адаптации растений (*Pinus sylvestris* L., *Capsella bursa-pastoris* L., *Arabidopsis thaliana* L.) к хроническому радиационному воздействию в Чернобыльской зоне отчуждения с применением транскриптомного подхода.

Материалы и методы: ряд экспериментальных участков был заложен в Полесском радиационно-экологическом заповеднике на территории 30-км зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Секвенирование РНК растений проводили на платформе Illumina NovaSeq.

Результаты: проведён анализ дифференциальной экспрессии генов и анализ функционального обогащения транскриптов. Выявлены группы дифференциально экспрессирующихся генов, которые могут быть вовлечены в адаптацию к хроническому действию ионизирующего излучения. Проведён сравнительный анализ особенностей транскриптомов хвои и листьев радиочувствительных и радиоустойчивых видов растений.

Выводы: Сравнительный анализ транскриптомных данных из хронически облучаемых популяций растений показал существенные изменения экспрессии генов, которые, однако, не имеют заметных фенотипических проявлений и, таким образом, могут рассматриваться как адаптивная реакция растений на хроническое радиационное воздействие.

Работа была поддержана грантом РФФИ № 20-74-10004.

МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО β -ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ РАСТЕНИЙ

М. А. Гринберг¹, Ю. А. Немцова¹, М. М. Ладейнова¹, Д. В. Кузнецова¹,
Е. Н. Громова¹, А. А. Брилкина¹, С. В. Гудков^{1,2}, В. А. Воденеев¹

¹ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия
mag1355@yandex.ru

В естественных условиях растения, произрастающие при повышенном уровне ионизирующего излучения (ИИ), подвергаются действию разнообразных стрессоров (перепады температур, листогрызущие насекомые и т.д.). Формирование устойчивости происходит за счёт распространения по растению дистанционных стрессовых сигналов. Модификация сигналов под действием хронического ИИ может играть роль в формировании адаптации растений к стрессовым условиям среды.

Целью исследования является изучение механизмов влияния хронического облучения на электрические сигналы растений и вызываемых ими ответов.

Материалы и методы. Исследования проводились на 15-дневных проростках пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) и 6-недельных растениях табака (*Nicotiana tabacum* L.) сорта Samsun, модифицированных рН-чувствительными флуоресцентным белковым сенсором Pt-GFP. В качестве источника ИИ использовался β -излучатель ^{90}Sr - ^{90}Y с активностью 0,1 МБк и мощностью дозы порядка 31,3 мкГр/час. Облучение растений производилось непрерывно на протяжении всего периода выращивания. Индуцированный нагревом электрический сигнал регистрировался внеклеточно с использованием многоканальной макроэлектродной установки. Активность фотосинтеза и интенсивность транспирации измерялись при помощи инфракрасного газоанализатора и РАМ-флуориметра. Активность H^+ -АТФазы измерялась микроэлектродами внутриклеточно с использованием ингибитора азида натрия (NaN_3). Динамика рН определялась по флуоресценции сенсора Pt-GFP в установке поверхностного флуоресцентного имиджинга. Анализ концентраций фитогормонов проводился методом жидкостной хроматомасс-спектрометрии.

Результаты. У облучённых растений было обнаружено увеличение амплитуды и скорости электрических сигналов, индуцированных локальным стрессором. Показано, что такая модификация сигнала вызывает усиление функциональных ответов транспирации и фотосинтеза, включая как показатели световой, так и темновой стадии. Однако, у облучённых растений происходит инвертирование роли электрических сигналов в устойчивости к стрессу: в контроле сигнал способствуют повышению устойчивости, а при облучении устойчивость после сигнала снижается. В основе такого явления может лежать (i) изменение под действием хронического ИИ активности физиологических процессов в покое, (ii) модификация статуса систем, формирующих сигнал, и (iii) нарушение процесса преобразования сигнала в функциональный ответ. В наших экспериментах показано, что у облучённых растений в состоянии покоя существенно повышен уровень ассимиляции CO_2 , что, по-видимому, объясняется большей открытостью устьиц. За увеличенную амплитуду сигналов, вероятно, отвечает активация под действием ИИ H^+ -АТФазы. В преобразовании сигнала в функциональный ответ наиболее значимыми представляются усиливающиеся у облучённых растений сдвиги рН и уровни стрессовых фитогормонов.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что хроническое облучение усиливает электрические сигналы растений, но ухудшает их способность формировать адаптацию за счёт изменения статуса сигнальных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-04-01141_А).

РАДИАЦИОННОЕ ПОРАЖЕНИЕ МОЗГА ПРИ МАЛЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

О.П. Гундарова, В.П. Федоров, Н.В. Маслов, Н.В. Сгибнева, А.Н. Кварацхелия

Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,

Воронеж, Россия

episheva65@mail.ru

В последние годы наблюдается повышенный интерес к изучению влияния на организм человека малых доз ионизирующего излучения, что во многом связано с проблемами нарушения психоневрологического здоровья у ликвидаторов последствий Чернобыльской радиационной аварии. Однако до настоящего времени патогенез этих заболеваний и их нейроморфологический эквивалент остаются мало изученными.

Цель данного исследования - установление в радиобиологическом эксперименте нейроморфологических коррелятов изменения психоневрологического статуса ликвидаторов последствий радиационной аварии, получивших регламентированные дозы внешнего облучения.

Материалы и методы. Эксперимент с соблюдением правил биоэтики выполнен на 370 белых беспородных крысах-самцах в возрасте 4 мес., которых облучали в суммарных дозах от 0,1 до 1,0 Гр однократно и фракционированно (равными порциями в течение 5 дней) с мощностями дозы облучения от 0,5 до 6,6 Гр/ч. Объектом исследования служили различные участки головного мозга, которые забирали на протяжении всего пострadiационного периода (24 мес.) и обрабатывали стандартными гистологическими методиками. Каждой группе соответствовал адекватный возрастной контроль. Описательную статистику с вычислением средних и доверительных интервалов осуществляли с помощью пакетов программ Statistica 6.1 с последующим математическим моделированием и определением прогноза развития изменений.

Результаты. Проведенные исследования не выявили значимых органических изменений в нейронах головного мозга животных, подвергшихся малым радиационным воздействиям в исследованных режимах. Выявленные изменения являются неспецифическими, как правило, обратимы и имеют стохастический характер, не зависящий от дозовых и временных параметров. В исследуемом диапазоне доз и режимов облучения изменения в целом статистически значимых различий не имеют. При всех режимах облучения наблюдается увеличение количества нейронов с различной выраженностью альтерации, однако они располагаются изолированно, не образуют очагов дегенерации и значимо не снижают нейронную популяцию. Исследуемые режимы облучения вызывают, как правило, функциональные изменения в нейронах, изменяющие баланс между процессами возбуждения и торможения. Характер этих изменений показывает, что облучение приводит в ряде случаев к разнонаправленным эффектам, снижая одни показатели и повышая другие, что свидетельствует о нестабильности состояния нейронов. Эти явления обратимы, но нередко изменения нейроморфологических показателей являются пограничными, когда уже не норма, но еще и не патология. Вероятно, что при увеличении дозы облучения или действии сопутствующих неблагоприятных факторов среды такие изменения будут служить основой для развития патологических изменений в нейронах головного мозга.

Выводы. Нарушения здоровья и, в частности психоневрологического статуса, у ликвидаторов последствий радиационных аварий, получивших регламентированные дозы облучения видимо связаны не только с внешним облучением, а целым комплексом сопутствующих факторов (психогенные, социальные, парциальная недостаточность здоровья, вредные и опасные условия труда) среди которых ведущую роль следует отвести инкорпорации в организм долгоживущих радионуклидов.

РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ГИБЕЛИ КЛЕТОК, ВЫЗВАННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЕМ ДНК

Б. Животовский^{1,2}

¹Факультет фундаментальной медицины, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт медицины окружающей среды, Каролинский институт, Стокгольм, Швеция
Boris.Zhivotovsky@ki.se

Повреждения ДНК могут приводить к совершенно противоположным эффектам. Так, например, накопление нерепарируемых повреждений является одной из причин возникновения опухолевых клеток. С другой стороны, повреждения ДНК ведут к активации процесса элиминации раковых клеток. Кроме того, повреждения в ДНК отвечают за большинство побочных эффектов терапии.

Цель данного исследования установить какие типы гибели могут активироваться в ответ на повреждение ДНК и каковы механизмы стоят за этим феноменом.

Материалы и методы. Для оценки повреждений ДНК использовали набор молекулярно-биологических методов. Анализ различных типов гибели проводился с помощью морфологических, биохимических и молекулярно-биологических подходов.

Результаты и Выводы. Повреждения ДНК вызывают различные типы гибели опухолевых клеток. Эффект зависит от степени повреждения, типа клеток и спектра белков, экспрессирующихся в этих клетках. В ответ на действие химиотерапевтических препаратов, мишенью которых является ДНК, многие опухолевые клетки отвечают активацией процесса митотической катастрофы, а затем погибают по различным механизмам, таким как апоптоз, аутофагия или некроз, что регулируется соотношением определенных белков. Фосфорилирование гистона H2AX является определяющим фактором регулирующим начало гибели клеток и/или их выживание.

РЕАКЦИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОПУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ ИЗ ЗОН ВЛИЯНИЯ АВАРИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ И ФУКУСИМСКОЙ АЭС НА ХРОНИЧЕСКОЕ ОБЛУЧЕНИЕ

Е. А. Казакова, Я. А. Манухина, И. А. Пишенин, Е. М. Шестерикова, С. А. Гераськин

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,

Обнинск, Россия

elisabethafeb19@gmail.com

Исследования влияния техногенных загрязнений биосферы, произошедших в результате аварий на Чернобыльской и Фукусимской АЭС, на популяции растений позволят выяснить до конца не изученные механизмы адаптации популяций к существующим сегодня уровням радиационного воздействия. Генерация активных форм кислорода и модификация антиоксидантного статуса организма является одной из распространённых реакций на стрессовое воздействие. Таким образом, понимание ответа антиоксидантной системы популяций растений на хроническое низкодозовое облучение поможет выяснить её роль в адаптивных процессах.

Цель данного исследования – изучить реакцию компонентов антиоксидантной системы пяти видов травянистых растений из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС и древесного вида японской красной сосны из зоны аварии на АЭС Фукусима на хроническое облучение.

Материалы и методы. В популяциях пастушьей сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris*), клевера белого (*Trifolium repens*), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), ежи сборной (*Dactylis glomerata*) и водосбора обыкновенного (*Aquilegia vulgaris*) оценка концентраций ряда низкомолекулярных антиоксидантов и малонового диальдегида (МДА) проводилась методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), анализ активности пяти ферментов антиоксидантов выполнен методом спектрофотометрии. Оценка содержания неферментативных антиоксидантов и МДА в популяциях японской красной сосны (*Pinus densiflora*) проведена с помощью ВЭЖХ, также выполнен спектрофотометрический анализ активности пяти антиоксидантных ферментов в хвое *Pinus densiflora*. На всех участках произрастания изучаемых популяций подробно описана радиационная обстановка. Для участков зоны отчуждения ЧАЭС проведён расчёт поглощённых растениями доз.

Результаты. На основе полученных данных для каждого вида растений построены обобщающие схемы работы антиоксидантной системы. Установлено, что в популяциях травянистых растений наблюдается различная выраженность и характер ответа на облучение изучаемых неферментных и ферментных компонентов, зависящих от вида исследуемого растения, от величины радиационного воздействия, а также, по-видимому, радионуклидного состава загрязнения. Антиоксидантный статус популяций японской сосны указывает на наблюдаемую в настоящее время стрессовую ответную реакцию растений на действие хронического облучения.

Заключение. Хроническое низкодозовое облучение приводит к изменению работы антиоксидантной системы изучаемых популяций травянистых растений, произрастающих в тридцатикилометровой зоне отчуждения ЧАЭС, и японской красной сосны на территориях, загрязнённых в результате аварии на АЭС Фукусима. Результаты данного исследования важны для выяснения фундаментальных механизмов адаптации растений к долговременному хроническому облучению и могут служить основой для поиска общих детерминант, вносящих существенный вклад в адаптацию растений к действию различных стрессовых факторов.

При поддержке грантов РФФИ № 18-34-20012 и № 19-54-50003.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО БЕЛКА В ФАСОЛИ И В ЕЕ ПЕРВОМ ПОКОЛЕНИИ

К.Г.Караева, Э.С. Джафаров

Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан
elimkhan.jafarov@gmail.com

Из-за простоты и дешевизны в настоящее время предпосевное γ -облучение семян стало наиболее распространенным методом обработки семян. Обработка семян перед посевом, прежде всего, проводилась с целью повышения урожайности сельскохозяйственных растений. Результаты исследований показали, что обработка семян γ -лучами перед посевом позволяет повысить экономическую эффективность выращивания сельскохозяйственных культур, что отражается в ускорении роста и развития растений, сокращении вегетационного периода, повышении урожайности и снижении себестоимости продукции. Стало известно, что предпосевное облучение семян способствует также улучшению качественных характеристик сельскохозяйственных растений. Например, было показано увеличение содержания сахара в сахарной свекле, белка в зерновых растениях, крахмала в картофеле, полезных алкалоидов в лекарственных растениях, витаминов в плодовых и овощных культурах.

Целью нашего исследования являлась выяснения возможного влияние предпосевного γ -облучение семян на содержание общего белка в фасоли (*Phaseolus lunatus* L.) и в ее первом поколении.

Семена фасоли перед первым посевом подверглись воздействию γ - облучению в дозах 1, 5, 10, 50, 100, 200 и 300 Гр с применением Co^{60} . Облученные семена вместе с их контрольными образцами выращивались на опытном участке. В конце вегетационного периода плоды растения собраны и разделены на 2 части. Для первой части определены содержание общего белка, а вторая часть сохранена в специальных условиях для последующего посева (при этом семена не облучались). Посев семян первого поколения выращивались на том же участке, где выращивались семена родительского растения. В конце вегетационного периода плоды первого поколения растения собраны и для них также определены содержание общего белка.

Как для родительского, так и для первого поколения содержание общего белка определяли по известному методу Лоури.

Результаты показали, что для родительского растения при дозе облучения семян в 1 Гр содержание белка не отличается от содержания в контроле. Однако в интервале доз 1-10 Гр содержание белка постепенно увеличивается. Плоды семян, облученных в дозе 10 Гр, имеют наибольшее количество белков. При этом содержание белка ~ 1.2 раза больше, чем в контрольном. Дальнейшее увеличение дозы от 50 до 300 Гр приводило, наоборот, к значительному уменьшению содержания белков. При дозе облучения семян в 300 Гр уменьшение составляет ~ 5 раз.

Характер доза-зависимого изменения содержания белка для первого поколения отличается от родительского. Для первого поколения в области доз 1-10 Гр содержание белка не отличается от контрольного. А в области доз 50-300 Гр, как в случае родительского растения, плоды этого растения имели наименьшее количество белков.

Итак, если γ -облучение в низких дозах для родительского растения стимулирует процесс синтеза белков, то в больших дозах по отношению к синтезу белков оно проявляет ингибирующее действие. Однако для первого поколения сохраняется только ингибирующее действие, а стимулирующее действие при этом не имеет место. Можно предположить, в облученных при малых дозах семенах под действием радиоактивного излучения формируются определенные защитные механизмы, которые сохраняются в следующем поколении растения.

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ДЛЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

А.Г. Кудяшева, Л.А. Баилыкова

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

kud@ib.komisc.ru

Изучение отдаленных последствий в популяциях мышевидных грызунов в условиях длительного техногенного загрязнения необходимы для прогноза возможных последствий и путей адаптации к изменяющимся условиям среды обитания.

Цель работы – оценка отдаленных последствий радиоактивного загрязнения на организм мышевидных грызунов в зоне отчуждения ЧАЭС.

Материал и методы. Мониторинг грызунов в 30 км зоне ЧАЭС проведен в поставарийный период (1986-1991 гг.) и спустя 21 год после аварии на 6 участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения. Анализировали грызунов 5 видов (полевая мышь, рыжая полевка, обыкновенная полевка, полевка-экономка, желтогорлая мышь). За весь период по разным показателям изучено более 6000 особей. В 1986-1987 гг. спектрометрическими методами определено содержание ^{134}Cs , ^{137}Cs и ^{90}Sr в тушках, шкурках и органах зверьков. В отдаленный период проведено прижизненное измерение содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr у зверьков методом, разработанным в радиоэкологической лаборатории (Славутич). В качестве тестов использованы микроядерный тест клеток костного мозга и состав фосфолипидов (ФЛ) в липидах печени мышей.

Результаты. За годы, прошедшие после аварии, на прилегающих территориях произошли изменения радиационных и экологических условий: снижение уровня γ -фона, трансформация экотопов на участках отлова мышей. Уровень γ -излучения особенно снизился на участках с высоким и средним уровнем загрязнения. Обнаружена высокая изменчивость накопления радионуклидов в организме разных видов мелких грызунов, которая в значительной степени зависела от экологических условий обитания зверьков и их видовых особенностей. По содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr наиболее «грязными» оказались рыжие полевки, полевые мыши и желтогорлые мыши. Анализ биохимических и цитогенетических показателей через 21 год после аварии на ЧАЭС выявил повышение устойчивости мышевидных к техногенному загрязнению, что связано со снижением пресса радиационного фактора и других антропогенных воздействий. В первый поставарийный период состояние грызунов по совокупности происходящих в разных системах организма процессов повреждения и восстановления можно охарактеризовать как неустойчивое. Спустя два десятилетия после аварии в печени полевых мышей с участка Янов отмечали улучшение состава ФЛ как по относительному содержанию отдельных фракций, так и по суммарным показателям липидного обмена по сравнению с 1987 г. Анализ клеток костного мозга обнаружил нелинейные эффекты от уровня γ -фона на участках отлова, что свидетельствует о большей биологической эффективности «средних» доз, о гиперчувствительности, так и радиорезистентности клеток.

Выводы. Проведенный мониторинг мелких грызунов дает возможность проследить основные этапы качественных изменений в системах организма и процессах регуляции у нескольких поколений животных, которые прошли естественный отбор и представляют собой наиболее приспособленных представителей популяции. Работа выполнена в рамках госзадания по теме НИР «Механизмы биогенной миграции радионуклидов и закономерности возникновения отдаленных последствий, индуцированных у растений и животных в условиях хронического радиационного и химического воздействия» № Гр. АААА-А18-118011190102-7.

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ И СОСТАВОМ ФОСФОЛИПИДОВ В ПЕЧЕНИ ПОЛЕВКИ-ЭКОНОМКИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОСТИ

А.Г. Кудяшева, Н.Г. Загорская

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

kud@ib.komisc.ru

Приобретение на клеточном уровне устойчивости к действию неблагоприятных факторов среды обусловлена изменением количественных соотношений в структурах клеток фосфолипидов (ФЛ), играющих адаптивную роль в их функционировании. Изучение взаимосвязей между показателями состава ФЛ с морфофизиологическими параметрами необходимы для анализа механизмов адаптации мелких млекопитающих на радиоактивных участках в естественной среде обитания.

Цель работы – определение корреляционных взаимосвязей между отдельными фракциями ФЛ и морфофизиологическими показателями в печени у полевок-экономок (*Microtus oeconomus* Pall), обитающих в разных экологических условиях в фазы спада и пика численности животных.

Материал и методы. Исследования проведены на радиоэкологическом полигоне Республики Коми. Гамма-фон на радиовом участке составлял 1.5 ± 0.4 мкЗв/ч, на урано-радиовом участке 1.6 ± 0.1 мкЗв/ч. Для контрольных участков характерно среднее кларковое содержание естественных радиоактивных элементов в почве $^{226}\text{Ra} - 8 \cdot 10^{-13}$ г/г, $^{232}\text{Th} - 6 \cdot 10^{-6}$ г/г, $^{238}\text{U} - 1 \cdot 10^{-6}$ г/г. Мощность дозы γ -облучения составляла 0,10–0,14 мкЗв/ч. В анализе использованы показатели (масса и индекс печени) и отдельные фракции ФЛ с учетом пола, возраста зверьков, фазы численности и участка отлова.

Результаты. Установлена зависимость характера и масштаба взаимосвязей между сравниваемыми параметрами у полевок от фазы численности и активности участка. Выраженность изменений обусловлена в ткани исходным состоянием параметров перекисного окисления липидов (ПОЛ) и степенью ненасыщенности липидов антиоксидантами. Более высокая изменчивость состава ФЛ печени имеет место на радиовом участке в обе фазы численности зверьков. Отмечена высокая обратная корреляция между ФХ-ЛФХ. Рост коэффициента корреляции происходит по мере загрязненности участка особенно на спаде численности. Взаимосвязь между обобщенными показателями ПОЛ отмечена сильнее на радиовом участке. В пик численности выявлена слабо выраженная прямая корреляционная зависимость, между массой печени и содержанием КЛ+ФК у полевок контрольного и радиового стационаров и исчезает на урано-радиовом участке, при этом меняется ее знак. На спаде численности высокая обратная корреляция между сравниваемыми показателями отмечена лишь у полевок контрольного участка. Снижение содержания КЛ+ФК происходит при увеличении массы печени. В пик численности отмечали низкие коэффициенты корреляции между индексом печени и лизоформами ФЛ у полевок с опытных участков, имеющую обратную зависимость и изменчивость показателей у самок со всех участков. У полевок с радиового участка рост доли лизоформ сопровождался увеличением индекса печени, у зверьков с контрольного участка установлено снижение участия лизоформ в пролиферативной активности органа.

Выводы. Внутрипопуляционные факторы оказывают модифицирующее действие на интенсивность процессов ПОЛ в печени полевок-экономок. Исследование состава ФЛ при одновременном использовании метода морфофизиологических индикаторов позволяет более полно проанализировать степень разнокачественности популяций мышевидных грызунов.

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НА
БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *PHASELOLUS L.*,
ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА**

Кулиева Н.Р., Бабаев Г.Г., Джафаров Э.С.

Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

naraguliyeva01@gmail.com

Как известно, всякое воздействие, приводящее к изменениям как в росте и развитии, так и в метаболических процессах, называются стрессовыми. В зависимости от степени стресса, растения по-разному реагируют на такие воздействия. Некоторые растения стараются «избегать» такое воздействие, мобилизуя свой внутренний защитный потенциал, тем самым проявляют стрессоустойчивость.

Реакция растений на повреждения, причиняемые стрессовым воздействием, может проявиться на субмолекулярном, молекулярном и внутриклеточном уровнях. При этом, один из признаков «избегания» растений стрессового воздействия является проявление изменений в морфологической структуре.

Исходя из таких соображений, мы сочли целесообразным исследовать морфологические изменения в структуре фасоли, семена которой подверглись предпосевному гамма облучению, в условиях солевого стресса. Тем самым попытались получить информации о роли предпосевного облучения семян этого растения на ее солеустойчивость. Для этой цели проводили исследования в трех разных условиях произрастания:

- растения выращивали в физиологическом растворе (при этом семена подвергли предпосевному γ -облучению в дозах 5, 10, 50 Гр);
- необлученные семена выращивали в растворе NaCl при концентрациях 1, 5, 10 мМ;
- облученные в разных дозах семена выращивали в растворе NaCl при разных концентрациях.

Во всех трех условиях проводили фенологические наблюдения и определяли биометрические показатели.

Результаты исследований показали, что в биометрических показателях листьев, корней и стеблей имеются определенные различия в зависимости, как от дозы облучения семян, так и от концентрации соли. При этом увеличение дозы облучения, также как и усиление солевого стресса в отдельности приводит к увеличению размеров корней. Однако в условиях двойного стресса, динамика увеличения размеров корней с увеличением концентрации соли сохраняется только при низких дозах облучения. А при высоких дозах, усиление солевого стресса приводит к ингибированию развития корней.

Интересно, что влияние облучения в отдельности приводит также к увеличению массы корней. Однако, с увеличением концентрации NaCl, наоборот, масса корней уменьшается. Уменьшение массы корней имеет место также в условиях двойного стресса. Что касается листьев и стеблей, изменение размеров и массы имеет место как в условиях радиационного, так и солевого стресса в отдельности. При этом увеличение концентрации соли приводит к уменьшению, как размеров, так и массы листьев и стеблей. Однако, при совместном воздействии радиации и соли в зависимости от дозы облучения и концентрации соли имеет место как стимулирование, так и ингибирование размеров и массы листьев и стеблей.

На основе полученных результатов пришли к выводу о том, что предпосевное облучение семян, в какой-то мере облегчает воздействие солевого стресса в определенных условиях.

СОДЕРЖАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В *ALHAGI PSEUDALHAGI*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЗОНЕ ПОВЫШЕННОГО РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Л.М.Мамедова, Л.В.Аллахвердиева

Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

mamedova_guliyeva@mail.ru

По мнению некоторых исследователей радиационное влияние (в основном хроническое) формирует в растениях определенные адаптационные признаки и высокую радиоактивную стойкость растений, которые этим пытаются уменьшить данное воздействие. Формирование адаптационных признаков к радиационному влиянию связывают с активацией репарационной системы ДНК, которая способна восстанавливать поврежденные клетки. Целью нашего исследования являлось выяснение роли низкомолекулярных антиоксидантов в условиях хронического гамма облучения.

Объектом нашего исследования являлось растение *Alhagi pseudalhagi*, дикорастущее на радиоактивно загрязненной территории Романинского завода по производству йода Азербайджанской Республики. Определены радиорезистентные способности *Alhagi pseudalhagi*, широко распространенной и «хорошо» развивающейся на данной территории.

Представленная работа посвящена исследованию динамики изменения содержания низкомолекулярных антиоксидантов, таких как каротиноиды, флавоноиды и антоцианы в *Alhagi pseudalhagi*, произрастающей в зоне повышенного хронического γ - облучения. Низкомолекулярные антиоксиданты исследовались при этом во всех периодах активной вегетации как в листьях, так и в цветках этого растения.

Получено, что образование и накопление в разных органах каротиноидов, флавоноидов и антоцианов является динамическим процессом, который изменяется как в онтогенезе растения, так и под воздействием хронической радиации. Показано, что потенциал низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы защиты кроме физиологического состояния и генетической особенности этого растения определяется также их вариабельностью в стрессовых условиях. Установлено, что высокая стойкость растения к воздействию малых доз радиации коррелирует с высоким содержанием фенольных соединений. При этом ключевую роль в защите растения от хронического облучения играют, в основном, каротиноиды.

Предполагаем, что высокий каротиноидный состав, обнаруженный в *Alhagi pseudalhagi*, обуславливает высокую радиорезистентность этого растения к экстремальным условиям (в том числе, к высокому радиационному фону местности).

Выяснено, что исследуемые нами пигменты, которые отличаются как по химической природе и разнообразию пути биосинтеза, так и по внутриклеточной локализации, *in vivo* имеют сходную роль в обеспечении долговременной адаптации *Alhagi pseudalhagi* к хроническому воздействию радиации.

Результаты позволили определить вегетационный период максимального накопления биологически активных веществ в растительных органах, а также оценить влияние радиации на процесс накопления этих же соединений.

Несмотря на то, что мы на основе полученных данных не смогли высказать конкретное предположение о механизме действия радиации на синтез этих пигментов, мы с уверенностью пришли к выводу о том, что если радиоактивное излучение на одном этапе ингибирует пути синтеза пигментов, то на другом - стимулирует этот процесс. При этом как стимулирование, так и ингибирование зависит от дозы поглощения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ И РЕГУЛИРУЮЩИХ НЕКОДИРУЮЩИХ РНК

В.Ф.Михайлов¹, Г.Д.Засухина²

¹ ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна
ФМБА России, Москва, Россия

² Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия
vfmi@mail.ru

Гормезис, т.е. усиление устойчивости организма к высоким дозам радиации после предварительного воздействия малых доз (МДР), является проявлением общебиологической закономерности, когда, например, воздействие малых концентраций инфекционного агента создает определенную резистентность к циркулирующим в природе вирулентным возбудителям.

Целью данного исследования было сравнительное изучение ряда генов, обеспечивающих клеточный гомеостаз, и регулирующих некодирующие РНК (микро- и длинные РНК) в клеточных культурах лимфоцитов и лимфобластных клетках (Jurkat) человека, а также динамику активности этих структур у мышей (линия С57Вl6) при формировании опухолей в режиме различных доз рентреновского облучения в аспекте данных литературы. **Методом** исследований было использование ПЦР в реальном времени.

В результате исследований *in vitro* были показаны существенные различия в условиях экспрессии генов и некодирующих РНК между нормальными и опухолевыми клетками при воздействии МДР (0,1Гр), когда наблюдали активацию структур, обеспечивающих стабильность в нормальных клетках и отсутствие эффекта в опухолевых клетках.

В опытах на мышах при пролонгированном облучении были обнаружены различия в дисбалансе функционирования Р53 системы сохранения стабильности генома в костном мозге мышей с опухолями или без них, что может быть использовано как подход для определения риска развития радиационно-индуцированных опухолей. Результатом исследований может служить новый подход, позволяющий использовать МДР для сохранения нормальных клеток, окружающих опухоль, при применении радиотерапии, т.к. в нормальных клетках формируется устойчивость к высоким дозам радиации.

Выводы:

1. Различия в радиоответе на воздействие МДР по показателям активности генов и регулирующих РНК в нормальных и опухолевых клетках позволяет разработать подход для стабилизации нормальных клеток, окружающих опухоль, при радиотерапии. На основе показателей уровней экспрессии генов и некодирующих РНК может быть разработана система оценки риска развития радиоиндуцированных опухолей.
2. На основе изучения активности генов и их регуляторов МДР могут быть использованы для стимуляции защитных систем организма при некоторых патологиях человека.

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОТЛИЧИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОБЛУЧЕНИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ДОЗ

О.В. Никитенко

ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Москва, Россия

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

dorozhkina88@mail.ru

Вопрос о биологических эффектах действия малых доз ионизирующего излучения, а также проблема их количественной оценки продолжают оставаться предметом многочисленных дискуссий и противоречивых мнений по поводу их опасности для человека. Нарушение хромосомного аппарата живых биосистем, начиная от вирусов и бактерий до человека, является наиболее специфическим и достоверным свидетельством воздействия на них ионизирующего излучения.

Целью данного исследования стало изучение зависимости доза-эффект иммуногематологических, цитогенетических и цитологических показателей клеток костного мозга при гамма-облучении мышей в широком диапазоне доз, от очень малых до сверхлетальных.

Материалы и методы. Исследования проводили на 112 мышах, самках ICR CD-1 SPF-категории (питомник ФИБХ РАН, г. Пущино) с исходной массой тела 21-30 г. Животные содержались в конвенциональных условиях, получали стандартный гранулированный корм и дистиллированную воду *ad libitum*. Экспериментальные животные были подвергнуты тотальному дорсо-вентральному гамма-облучению ^{60}Co на установке «Рокус-М» МТК ОИЯИ (г. Дубна) в дозах 5, 10, 15, 25, 50, 75, 100 мГр с мощностью дозы 6,9 мГр/мин, а в дозах 25, 12,5, 2,5, 0,5 и 0,1 Гр при мощности дозы 0,58 Гр/мин. Вывод животных из эксперимента осуществляли методом цервикальной дислокации через 24 и 25-26 часов после облучения.

Результаты. В эксперименте №1 в диапазоне доз от 0,015 до 0,1 Гр имеет место статистически значимое дозозависимое снижение числа кариоцитов в костном мозге через 24 часа после облучения гамма-квантами. Облучение в малых дозах либо не меняет митотической активности клеток костного мозга, либо даже повышает – наиболее отчетливо в дозе 0,075 Гр. Начиная с дозы 0,01 Гр, отмечается статистически значимое повышение уровня хромосомных aberrаций через 24 часа после облучения.

В эксперименте №2 число кариоцитов в костном мозге мышей через 25-26 часов после гамма-облучения в дозе 0,5 Гр начинает снижаться пропорционально дозе облучения и на уровне 12,5 - 25 Гр выходит на плато. Были установлены статистически значимые различия в группах 2,5 Гр, 12,5 Гр и 25 Гр по сравнению с группой контроля. Пролиферативная активность клеток костного мозга в диапазоне доз от 0,1 до 25 Гр была статистически значимо снижена. Уровень хромосомных aberrаций в клетках костного мозга мышей статистически значимо увеличивался по сравнению с группой контроля через 25-26 часов после облучения во всем исследуемом диапазоне доз. При облучении в диапазоне больших доз с высокой частотой регистрируются клетки с фрагментами, тогда как в области малых доз преобладают клетки с мостами.

Заключение. Таким образом установлено, что при облучении экспериментальных животных в области малых и очень малых доз отмечено дозозависимое снижение числа кариоцитов в костном мозге и коррелирующее с дозой увеличение уровня хромосомных aberrаций в клетках костного мозга. У экспериментальных животных, подвергнутых воздействию γ -излучения в средних и больших дозах, отмечено дозозависимое снижение числа кариоцитов в костном мозге, снижение митотического индекса и увеличение уровня хромосомных aberrаций.

**ДЛИТЕЛЬНО ПЕРСИСТИРУЮЩИЕ СТАБИЛЬНЫЕ ХРОМОСОМНЫЕ
АБЕРРАЦИИ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК В КЛЕТКАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ
КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ВЫСОКОДОЗНОГО ГАММА-БЕТА-ОБЛУЧЕНИЯ
ПРИ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

*В.А. Никитина¹, В.Ю. Нугис¹, Т.А. Астрелина¹, И.В. Кобзева¹, И.А. Галстян¹,
М.Г. Козлова¹, Е.Е. Ломоносова¹, Д.Г. Жегло², А.К. Жанатаев³, А.С. Самойлов¹*

¹ ГНЦ ФМБЦ имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

² Медико-генетический центр имени академика Н.П. Бочкова, Москва, Россия

³ НИИ фармакологии имени В.В. Закусова, Москва, Россия

nikitinava@yandex.ru

Генетические эффекты ионизирующего излучения у людей, пострадавших в радиационных авариях и перенесших острую лучевую болезнь разной степени тяжести, представляют особый интерес, особенно при возможности длительного мониторинга. Множественные нелетальные хромосомные перестройки, ведущие к изменению положения генов и образованию гибридных молекул, а также мутаций генов, ответственных за пролиферацию, репарацию ДНК, прохождение контрольных точек клеточного цикла, повышают риск возникновения онкопатологии.

Целью исследования было определение уровня хромосомных и ДНК повреждений с анализом распределения точек разрывов хромосом по геному у человека в отдалённые сроки после высокодозного радиационного воздействия.

Материалы и методы. С использованием методов многоцветного FISH (mFISH) анализа и гель-электрофореза отдельных клеток была проведена оценка частот радиационно-индуцированных хромосомных aberrаций и ДНК повреждений в клетках периферической крови участника ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС через 30-33 года после преимущественно внешнего относительно равномерного гамма-бета-облучения (цитогенетическая оценка дозы – 3,2 Гр).

Результаты. В данном исследовании была определена чрезвычайно высокая частота структурных хромосомных aberrаций. В среднем процент aberrантных клеток составил $29,91 \pm 1,01\%$ при анализе 993 mFISH-окрашенных метафазных пластинок. В спектре хромосомных aberrаций преобладали сбалансированные хромосомные транслокации (примерно 32 на 100 клеток), в то время как количество других типов хромосомных перестроек было близким к спонтанному уровню, характерному для человека. Разрывы были обнаружены во всех парах хромосом, однако, их распределение по геному оказалось неравномерным. В парах хромосом 13 и 20 частота их возникновения была значительно ниже, по сравнению с другими аутосомами и половыми хромосомами. С помощью метода гель-электрофореза отдельных клеток были определены повышенные показатели: «процент ДНК в хвосте» – 7,2% и частота атипичных ДНК-комет – 10,1%. В 2019 году пациенту был поставлен диагноз – базальноклеточный рак кожи. Онкогематологических заболеваний, а также каких-либо доказательств недавнего генотоксического воздействия на основе информации из медицинской карты пациента не выявлено.

Выводы. Полученные результаты описывают уникальный паттерн множественных хромосомных aberrаций у облученного пациента в период первичного выявления онкологического заболевания. Неравномерное распределение разрывов хромосом в геноме и эффективность апоптотического устранения клеток с хромосомными повреждениями свидетельствуют об индивидуальных особенностях чувствительности пациента к ионизирующему излучению, а подробная ретроспективная характеристика генетических изменений после облучения необходима для понимания патогенеза онкологических заболеваний у человека.

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ У СОТРУДНИКОВ ПЛУТОНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Петушкова В.В.¹, Пелевина И.И.¹, Серебряный А.М.¹, Когарко И.Н.¹, Когарко Б.С.¹,
Аклеев А.В.², Азизова Т.В.³, Нейфах Е.А.¹, Ганеев И.И.¹, Ктиторова О.В.¹*

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им.Н.Н. Семёнова РАН,
Москва, Россия

²Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
Челябинск, Россия

³Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озёрск, Россия
vladapetushkova@yandex.ru

В продолжение изучения последствий хронического воздействия ионизирующей радиации на геном человека, проведено исследование поврежденности генома лимфоцитов периферической крови сотрудников, подвергшихся облучению в связи с работой на производстве плутония (ПО Маяк, г. Озерск).

Целью данного исследования является анализ структуры адаптивного ответа при профессиональном облучении.

Материалы и методы. Исследовались 23 сотрудника-ветерана плутониевого производства. Средняя дозовая нагрузка за счёт внутреннего альфа излучения на лёгкие оценивалась в $0,12 \pm 0,024$ Гр, тогда как на костный мозг: $0,045 \pm 0,0087$ Гр. Индивидуализированные дозы внешнего гамма излучения на костный мозг в среднем имели значения: $1,6 \pm 0,1$ Гр, на лёгкие в среднем составили: $1,8 \pm 0,12$ Гр. Использован микроядерный тест с цитокинетическим блоком и цитохалазином В. Проанализировано влияние различных факторов ионизирующего излучения на спонтанную частоту микроядерных клеток и структуру адаптивного ответа.

Результаты. Установлено, что адаптивный потенциал лимфоцитов находился в корреляции с дозами внешнего и внутреннего облучения. Полученные данные свидетельствуют о том, что спонтанная поврежденность генома лимфоцитов связана с уровнем внутреннего, но не внешнего облучения легких индивидуума ($r=0,51$; $p=0,015$) и костного мозга ($r=0,47$; $p=0,026$), а также с продолжительностью работы на производстве ($r=0,43$; $p=0,046$).

Выводы. Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что лимфоциты работников плутониевого производства, подвергшихся сочетанному хроническому радиационному воздействию, обусловленному внешним γ -излучением и внутренним α -излучением от ^{239}Pu , сохраняют способность к индукции адаптивного ответа даже в отдаленные сроки.

Р53 ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ В КЛЕТКАХ НЕМЕЛКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЕГКОГО ЧЕЛОВЕКА И ИХ РАДИОРЕЗИСТЕНТНЫХ СУБЛИНИЙ

*М.В. Пустовалова, Л. Алхаддад, Н.М. Сметанина, А.К. Грехова, Т.М. Блохина,
Р.Н. Чупров-Неточин, А.Н. Осипов, С.В. Леонов*

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
pu.margo@mail.com

Радиотерапия является одним из основных методов лечения немелкоклеточного рака легкого (НМРЛ). Однако устойчивость определенных субпопуляций опухолевых клеток к облучению остается основным фактором, ограничивающим успешный терапевтический исход.

Целью настоящей работы являлось изучение клеточно-молекулярных механизмов радиорезистентности клеток линии H1299 (p53 дефицитные) и A549 (p53 дикого типа) (карцинома легкого человека), выживших после фракционированного воздействия ионизирующего излучения (ИИ).

Материалы и методы. Исходные популяции клеток H1299 и A549 были подвержены фракционированному облучению в тотальной дозе 60 Гр с последующим культивированием выживших клеток. Для сравнительного исследования радиобиологических эффектов между родительскими (A549 и H1299) и выжившими (A549IR и H1299IR) субпопуляциями клетки были подвержены дополнительному воздействию ИИ в дозах 2, 4 и 6 Гр.

Результаты. Дополнительное воздействие в дозе 2 Гр привело к значительным изменениям кинетики фокусов γ H2AX (маркер двунитевых разрывов (ДР) ДНК) и фосфорилированной киназы ATM (pATM) в A549IR и H1299IR сублиниях по сравнению с родительскими клетками НМРЛ. В то время как клетки A549, A549IR и H1299 продемонстрировали четкую двухфазную кинетику репарации ДР ДНК, H1299IR демонстрировали более медленную кинетику уменьшения числа фокусов γ H2AX с присутствием около 50% фокусов через 8 ч после воздействия ИИ. Характер фосфорилирования H2AX в этих клетках был ATM-независимым. Уменьшение числа остаточных фокусов γ H2AX / 53BP1 наблюдалось как в A549IR, так и в H1299IR сублиниях по сравнению с родительскими клетками после дополнительного воздействия ИИ в дозах 2, 4 и 6 Гр. Этот процесс сопровождался изменениями клеточного цикла и клеточной гибели по пути апоптоза.

Выводы. В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что стандартная фракционированная лучевая терапия может приводить к появлению популяции выживших клеток, обладающих резистентностью к последующей терапии, а именно - более эффективной репарацией ДР ДНК, устойчивостью к клеточной гибели путем апоптоза и способных приводить к репопуляции опухоли за счет ОСК. Наши результаты имеют клиническое значение, поскольку они могут помочь в выборе наиболее эффективного режима лучевой терапии путем анализа статуса p53–53BP1 пути в опухолях и тем самым максимизировать терапевтическую пользу для пациентов, минимизируя сопутствующее повреждение нормальных тканей.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 19-74-10096).

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА В КЛЕТКАХ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОЛЕВОК, ОБИТАВШИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА, И У ИХ НЕОБЛУЧЕННЫХ ПОТОМКОВ

О. В. Раскоша, Н. Н. Старобор

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

raskosha@ib.komisc.ru

Выявление нарушений в соматических клетках животных является важной частью радиоэкологического мониторинга, при этом особое значение с прогностической точки зрения приобретают исследования отдаленных последствий биологического действия ионизирующего излучения в малых дозах. В процессах адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды приоритетное место принадлежит щитовидной железе (ЩЖ), гормоны которой влияют практически на все органы и ткани организма.

Цель – изучить цитогенетическое состояние фолликулярных клеток ЩЖ у полевок-экономок (*Alexandromys oeconomus* Pall.), обитающих в условиях хронического низкоинтенсивного действия ионизирующего излучения, а также проследить в ряду поколений этих животных возможность проявления эффектов нестабильности генома.

Материалы и методы. Полевок, отловленных на участках с нормальным (10-15 мкР/ч) и повышенным (50-2000 мкР/ч) радиационным фоном (Республика Коми), доставляли в виваэ2рий экспериментальных животных (<http://www.ckprf.ru/usu/471933/>), где от них в строгом соответствии с участком отлова было получено потомство (F₁-F₃). Привезенных из природы полевок и их потомков подвергали тест-нагрузке уретаном (1 мг/г массы тела). Для цитогенетического исследования клеток ЩЖ применяли микроядерный тест и нейтральную версию метода ДНК-комет.

Результаты. Установлено, что обитание полевок-экономок в условиях хронического низкоинтенсивного воздействия ионизирующего излучения вызывало генотоксический эффект в ЩЖ, проявляющийся в усиленном образовании микронуклеированных тироцитов. Химическая нагрузка уретаном приводила к появлению большей доли клеток с трудно восстанавливаемыми повреждениями в ЩЖ облученных животных по сравнению с контрольными полевками. У потомков облученных полевок, доля клеток с микроядрами сохранялась в пределах контроля, а статистически значимые различия проявлялись по степени фрагментации ДНК, причем направленность изменений зависела от поколения, прошедшего после облучения животных – в F₁ отмечали повышение индукции ДР ДНК относительно соответствующего контроля, в следующих поколениях прослежено снижение значений этого показателя. Применение уретановой интоксикации на потомках животных показало сходство в направленности изменений в ЩЖ особей F₁ опытной и контрольной групп, тогда как в следующих поколениях после химической нагрузки обнаружены различия ответной реакции генома тироцитов у потомков опытных и соответствующих контрольных групп. У отдаленных потомков облученных животных происходило повышение индукции высоко фрагментированных тироцитов, как и у их предков из природной популяции.

Выводы. Результаты изучения радиационно-индуцированных эффектов у животных, обитавших в условиях повышенного радиационного фона, и сопоставление их с данными, полученными на их потомках, позволили сделать заключение о биологической эффективности хронического низкоинтенсивного воздействия ионизирующего излучения и о возможности проявления эффектов нестабильности генома в потомстве облученных животных. Работа выполнена в рамках ГЗ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № ГР АААА-А18-118011190102-7.

ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ГЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК МОЗГА В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВЫ МЫШЕЙ РАЗНЫМИ ТИПАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Родина А.В., Семочкина Ю.П., Романцова А.Н., Москалева Е.Ю.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Rodina_AV@nrcki.ru

Экспериментальные данные последнего десятилетия указывают на значимость глиальных клеток, а именно, астроцитов и микроглиоцитов, в патогенезе пострadiационного повреждения мозга. Переход микроглии в активированное состояние в ответ на повреждение ЦНС под действием ионизирующего излучения может привести к нейровоспалению и, как следствие, к нейродегенерации и развитию психоэмоциональных и когнитивных нарушений. Астроциты активируются цитокинами и хемокинами, секретируемыми микроглией, и, в свою очередь, высвобождая провоспалительные факторы, могут также усиливать активацию клеток микроглии. Учитывая важнейшую роль этих клеток в обеспечении гомеостаза в ЦНС, важно иметь полное представление об их состоянии в отдаленный период после действия разных типов ионизирующего излучения.

Целью настоящего исследования являлся сравнительный анализ состояния глиальных клеток ЦНС в отдаленный период после действия смешанного γ ,n-излучения в дозе 1 Гр и γ -излучения в дозе 2 Гр, обычно используемой в качестве однократного воздействия при фракционной радиотерапии. Доза нейтронов выбрана, исходя из значения ОБЭ для этого типа излучения, близкому 2.

Материалы и методы. Облучение головы самцов мышей линии C57BL/6 проводили в коллимированном пучке нейтронов и гамма-квантов ядерного реактора ИР-8. Мощность реактора менялась от 4,5 до 6,5 МВт. Действию γ -излучения от источника кобальт-60 мышей подвергали на установке «ГУТ-200М» при мощности дозы 0,75 Гр/мин. Животных анестезировали, проводили транскардиальную перфузию, извлекали мозг, удаляли мозжечок, обонятельные доли и готовили суспензию клеток мозга. Клетки покоящейся микроглии идентифицировали как субпопуляцию CD11b⁺/CD45^{low} после окрашивания антителами к CD11b и к CD45. Популяция клеток с фенотипом CD11b⁺/CD45^{high} соответствует клеткам активированной микроглии и макрофагам. Популяцию астроцитов выявляли, окрашивая клетки антителами к GFAP. Флуоресценцию клеток анализировали на проточном цитофлуориметре BD FACSCalibur.

Результаты. При анализе количества клеток микроглии с фенотипом CD11b⁺/CD45^{low} в мозге мышей через 2 мес после γ ,n-облучения головы в дозе 1 Гр обнаружено, что их уровень не отличался от контроля, а после γ -облучения в дозе 2 Гр обнаружено снижение содержания клеток покоящейся микроглии, что может определяться более медленной скоростью восстановления их количества в результате гибели в ранние сроки после воздействия. Уровень активированной микроглии CD11b⁺/CD45^{high} был достоверно повышен после γ ,n-облучения, но не отличался от необлученного контроля после γ -облучения. Исследование содержания астроцитов по количеству GFAP⁺-клеток в суспензии клеток мозга показало, что через 2 месяца после γ ,n-облучения их уровень достоверно повышался по сравнению с контрольной группой, а после γ -облучения повышенного содержания GFAP⁺-клеток не наблюдалось.

Выводы. Действие и γ - и γ ,n-излучения в низких дозах вызывает изменения в содержании глиальных клеток в ЦНС. Однако, в отличие от γ -излучения, через 2 мес после действия γ ,n-излучения в низкой дозе обнаружены признаки нейровоспаления. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-29-01033.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ НЕЛУЧЕВОГО КОМПОНЕНТА КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЦИОННО- МЕХАНИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

А. Б. Селезнёв^{1,2}, А. М. Носов², Н. А. Жирнова², К. Д. Мусевич^{1,3}

¹ Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной
медицины МО РФ, Санкт-Петербург, Россия

² Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

³ Северо-западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова,
Санкт-Петербург, Россия
artem_svu06@mail.ru

Одним из современных направлений развития хирургии повреждений является внедрение и использование методов неоперативного лечения травм. Внедрение указанных технологий хирургического лечения позволило снизить летальность и осложнения при политравме. Неоперативные методы могут быть востребованы и при комбинированных радиационно-механических поражениях (КРМП), однако данные, подтверждающие возможность их применения в доступной литературе, отсутствуют.

Цель исследования – экспериментальная оценка эффективности неоперативного ведения закрытой травмы живота с остановившемся кровотечением в условиях острого относительно равномерного облучения.

Материалы и методы. Исследование проведено на 10 кроликах-самцах породы Советская шиншилла, массой 2,5-3,0 кг, разделенных на 2 группы по 5 особей. В группе контроля моделировалась механическая травма, которая заключалась в создании дозируемой кровопотери, равной 20% объема циркулирующей крови, с параллельным введением изъятой крови из краевой вены уха в брюшную полость после выполнения лапароцентеза. Животных группы КРМП облучали в дозе 6 Гр на установке ИГУР-1, а затем, спустя один час, воспроизводили аналогичную травму. Оценивали среднюю продолжительность жизни и летальность животных, изменения клеточного состава периферической крови, особенности поведенческих реакций на нанесенную травму.

Результаты. Все животные дожили до конца срока наблюдения (30 суток). Следует отметить, что прогнозировалась III степень тяжести КРМП, однако тяжесть поражения соответствовала II (средней) степени. Полученный результат, по всей видимости, обусловлен в первую очередь непроведением оперативного вмешательства (лапаротомии), которое само по себе является тяжелой травмой и утяжеляет состояние облученных животных. Ранее выполненные исследования, сопровождающиеся проведением лапаротомии, воспроизводили III степень тяжести КРМП. У животных группы КРМП, в отличие от контрольной, на 4-е сутки наблюдали отказ от корма и снижение двигательной активности, что связывали с развитием периода преобладания лучевого компонента поражения. В эти сроки в крови наблюдали развитие лейко- и лимфопении. Посттравматическая анемия нивелировалась к 15 суткам (в обеих группах), а восстановление количества лейкоцитов к 30 суткам (группа КРМП). На аутопсии у животных обеих групп крови в брюшной полости и признаков перенесенного воспалительного процесса не выявлено, при этом у 3-х кроликов группы КРМП диагностирована односторонняя пневмония.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения тактики неоперативного лечения при КРМП. Косвенно подтверждена безопасность нахождения излившейся крови в брюшную полость при КРМП.

РЕПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВОК-ЭКОНОМОК, ОБИТАВШИХ В БИОГЕОЦЕНОЗАХ С ПОВЫШЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ, И У ИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ПОТОМКОВ (F₁)

Н.Н. Старобор, О.В. Раскоша

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

starobor@ib.komisc.ru

В качестве объектов экологического мониторинга на территориях с повышенным радиационным фоном широко используют мелких грызунов, при этом важным представляется изучение их репродуктивных показателей, определяющих ход процессов популяционного воспроизводства.

Цель работы. В стандартных лабораторных условиях оценить процессы размножения у полевок-экономок (*Alexandromys oeconomus* Pallas), обитавших на участках с повышенным (50-2000 мкР/ч) и нормальным (10-15 мкР/ч) радиационным фоном, а также у их потомков (F₁).

Материалы и методы. Полевки-экономки, отловленные в период максимальной численности в биогеоценозах с различным уровнем радиоактивности (Республика Коми), были доставлены в виварий ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (<http://www.ckp-rf.ru/usu/471933/>). Из половозрелых сеголеток (один самец + одна самка) были сформированы 11 пар с радиоактивно загрязненного участка (опытный) и 8 пар с контрольного участка; из животных F₁ – 15 и 11 пар, соответственно. Рассчитывали интенсивность размножения – число самок, достигших родов за месяц/общее число самок × 100%; репродуктивный индекс – общее число детенышей за весь период размножения/сумму животных в парах; младенческую смертность – отношение числа умерших детенышей до отлучения от самки к числу новорожденных детенышей.

Результаты. Длительность беременности у всех исследуемых самок полевок-экономок была в пределах 18-22 дней. Интенсивность размножения у животных с опытного участка составляла 85.5±3.7%, с контрольного – 86.4±3.9%. Период отсутствия послеродовой беременности (анэструса) у полевок с опытного участка был на 4 дня дольше, чем в контроле (10.7±2.4 и 6.6±1.9 дней), доля послеродовых спариваний у животных с опытного и контрольного участков различалась на 25% с преобладанием у контрольных полевок (p≤0.05). Наряду с этим, у самок с опытного участка наблюдалась выраженная тенденция к повышению плодовитости за счет многоплодных беременностей (на 16%). Отмечена тенденция к повышению младенческой смертности детенышей в семьях облученных полевок. Репродуктивный индекс был выше у самок, отловленных на опытном участке (6.45, в контроле – 5.81). У потомков (F₁), полученных от полевок с опытного и контрольного участков интенсивность размножения была 93.1±2.2% и 94.6±3.0%, плодовитость – 12.7±2.6 и 12.2±1.9 детеныша, соответственно. Доля послеродовых спариваний у животных с обоих участков находилась в пределах 55.2–56.8%, длительность анэструса – 8.3±2.1 дня. У потомков животных с опытного участка обнаружена высокая младенческая смертность (14.8%, в контроле – 8.9%; p≤0.05). Репродуктивный индекс у F₁ полевок с опытного участка составил 5.40, в контроле – 5.55.

Выводы. Длительное обитание полевок-экономок в условиях повышенного радиационного фона способствует изменению некоторых репродуктивных характеристик у этих животных. При сравнительном изучении потомков (F₁), родившихся в лабораторных условиях при нормальном радиационном фоне от полевок, отловленных на исследуемых участках, обнаружено сходство в полученных данных, за исключением высокой младенческой смертности у потомков животных с опытного участка.

Работа выполнена в рамках ГЗ ФИЦ ИБ Коми НЦ УрО РАН, № ГР АААА-А18-118011190102.

МОЛЕКУЛЯРНО-КЛЕТОЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ХИМИЛУЧЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ: НАРУШЕНИЯ РЕПАРАЦИИ ДНК В СТАРЕЮЩИХ КЛЕТКАХ

Сухов В.Ю.¹, Фирсанов Д.В.², Соловьева Л.В.², Светлова М.П.²

¹ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург

² Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

soukhov@mail.ru

Введение: Злокачественные плоскоклеточные опухоли области головы и шеи (ГиШ) в общей структуре онкологической заболеваемости составляют около 15%. В лечение этих патологий широко применяются цитотоксические препараты, в том числе блеомицин, который является радиомиметиком, вызывающий в клетках повреждения схожие с действием ионизирующей радиации, и часто сочетающиеся и/или предваряющие лучевую терапию. При плоскоклеточном раке ГиШ блеомицин используется в основном в сочетании с лучевой терапией. Учитывая, что данный тип рака наблюдается у пациентов старше 50 лет, актуальным является вопрос снижения дозы как химиотерапевтического препарата, так и лучевой нагрузки на нормальные клетки, в которых с возрастом может снижаться эффективность репаративных процессов.

Цель исследования: изучение эффективности репарации двунитевых разрывов ДНК в молодых и стареющих фибробластах грызунов после блеомицина.

Материалы и методы исследования: Использовались первичные фибробласты сирийских хомяков, подвергающихся преждевременному старению в нормальных условиях культивирования. Блеомицин сульфат (Sigma-Aldrich) в конечной концентрации 50 мкг/мл использовался для индукции двунитевых разрывов ДНК (ДР), алогичных радиационным повреждениям. Эффективность репарации ДР оценивалась методом лазерной сканирующей конфокальной микроскопии после иммуноцитохимического окрашивания препаратов клеток антителами на фосфорилированную форму гистона H2AX (гамма-H2AX).

Результаты: Молодые клетки обладали большей скоростью элиминации фокусов гамма-H2AX после действия блеомицина и ионизирующей радиации по сравнению с неделящимися стареющими клетками. В то же время в стареющих клетках наблюдалась замедленная динамика рекрутирования других белков репарации (53BP1, фосфо-АТМ, фосфо-DNA-PK) к местам ДР ДНК (фокусам гамма-H2AX).

Заключение: Наши данные демонстрируют нарушенную репарацию ДР ДНК в стареющих клетках после введения блеомицина и/или облучения, что свидетельствует о необходимости оптимизации дозы препарата и/или лучевого воздействия при лечении возрастных пациентов с целью снижения нежелательных последствий его действия на нормальные ткани.

ОПЫТ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РАДИОГЕННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

В.Л.Шарыгин

ФИЦ химической физики им.Н.Н.Семенова РАН, Москва, Россия

sharygin@chph.ras.ru

Работа посвящена анализу фактов возрастания частоты генных мутаций из-за дисбаланса пулов дезоксирибонуклеотидтрифосфатов (dNTP) в тканях кроветворных органов и вкладу этих механизмов в повреждающее действие на организм ДНК-тропных агентов.

Целью исследований является изучение на междисциплинарном уровне закономерностей динамического ответа молекулярно-клеточных систем на воздействие ионизирующих излучений (ИИ) в условиях генерации повреждений синтеза dNTP, ДНК, РНК и белков.

Результаты. Обосновываются методологические и системные принципы научного рассмотрения причин возникновения генных мутаций в условиях γ -облучения различной силы и длительности. Использование в междисциплинарном исследовании ЭПР-технологий позволило зарегистрировать организменный дозозависимый SOS-ответ системы репарационного синтеза ДНК на ИИ при радиационном окислительном стрессе. Интенсивность и характер организменного метаболического SOS-ответа на ИИ определяется индивидуальной радиочувствительностью. При этом, одним из обязательных условий активации синтеза dNTP является необходимость репарации увеличенного объема повреждений ДНК. Установлено, что индукторами синтеза dNTP могут быть вещества, являющиеся β -блокаторами адреналиновых рецепторов, соединения, обладающие антиоксидантной активностью и эстрогеноподобным действием. На новом этапе фундаментальных исследований идеологически оправдано и актуально выяснение гипотезы функциональной роли резкой активации мутагенеза (гипермутагенез) для улучшения выживаемости и способности организма к адаптации в условиях действия повреждающих агентов различной природы.

Заключение и выводы. Установлен комплекс ЭПР-биомаркеров лучевого поражения организма животных и человека. Проведен анализ прогностической оценки степени эффективности перспективных радиопротекторов. Осуществляется поиск и испытание соединений, проявляющих антистрессорную, антиоксидантную и антиканцерогенную активность с использованием ЭПР-технологий. Для анализа ранних фенотипических эффектов радиогенных повреждений и выявления роли «мутационной нагрузки» в вероятностном возникновении экопатологии у детей из регионов радионуклидного загрязнения использовали ЭПР-дозиметрию. Комплекс ЭПР-биомаркеров позволил оценить пороговые и дозовые эффекты, выявить детерминанты адаптивных молекулярных реакций облученного организма детей в критические периоды их роста. Цитогенетические исследования показали увеличение частоты aberrаций хромосом, активацию соматического мутагенеза, накопление клеток с дисгеномными эффектами в детском организме. Спектр и диапазон метаболических изменений в поврежденных клетках связан с модификацией генной экспрессии в митохондриях и ядрах, обуславливающей как потенциально обратимые изменения, так и развитие экопатологии. Упреждающий эффект мутаций с выраженными фенотипическими проявлениями, обеспечивающий защитный потенциал организма, может заключаться в активации процессов репарации в митохондриальной системе ДНК и способствовать выживанию без существенных повреждений генома.

АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, СВЯЗАННЫХ С АДАПТАЦИЕЙ К ХРОНИЧЕСКОМУ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ, В ТКАНЯХ НЕМОДЕЛЬНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Е.М. Шестерикова, В.С. Бондаренко, Е.А. Казакова, И.В. Горбатова, П.Ю. Волкова
ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия, eshesterikova89@gmail.com

Радиоактивное загрязнение природных территорий в результате радиационных аварий представляет собой серьезный антропогенный стрессовый фактор для природных популяций растений. В ряде работ, проведенных в зоне аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), изучали влияние радиационного воздействия на структуру природных популяций растений, а также физиологические, биохимические и молекулярные изменения, индуцированные облучением. Однако на этих территориях не проводились комплексные полевые исследования механизмов адаптации к хроническому облучению в природных популяциях травянистых растений, резко различающихся по радиочувствительности. Чувствительность растений к острому облучению во многом связана со структурными особенностями генома, в то время как факторы чувствительности к хроническому облучению слабо изучены, имеют функциональную природу и, по-видимому, связаны с особенностями молекулярных путей ответа на длительный стресс у разных видов растений.

Цель данной работы – проанализировать экспрессию генов, потенциально вовлеченных в адаптивные реакции дикорастущих растений с разной радиочувствительностью, произрастающих в условиях хронического радиоактивного загрязнения.

В представленной работе были изучены четыре контрастных по чувствительности к острому облучению видов растений в рамках одного полевого исследования: клевер ползучий (*Trifolium repens*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), водосбор обыкновенный (*Aquilegia vulgaris*). Образцы растений были отобраны на 5-ти экспериментальных участках, 3 из которых располагались в 30-км зоне ЧАЭС. Подбор кандидатных генов для анализа осуществляли исходя из известных закономерностей хронического действия ионизирующего излучения на растения, таких как АБК-сигналинг и ответные реакции на окислительный стресс на молекулярном и биохимическом уровне. Также для каждого вида растений с помощью литературных источников были подобраны три референтных гена. Основываясь на последовательностях выбранных кандидатных генов, характерных для модельного растения *Arabidopsis thaliana*, была проведена работа по подбору наиболее консервативных участков последовательности для разработки праймеров для анализа экспрессии генов, выбранных для четырех экспериментальных видов растений. Подбор консервативных участков и разработку праймеров осуществляли с помощью программ NCBI BLAST, Clustal Omega и Primer BLAST. Была проведена оценка работоспособности и специфичности, выбранных праймеров, а также оптимизация условий проведения количественной ПЦР в реальном времени. Далее был проведен анализ экспрессии генов для трех экспериментальных растений: *T. repens* – APX1, CAB1, RBOH-F, GPX2, SnRK2.4, TIP1; *D. glomerata* – CAB1, NTRB, PIP1, TIP1, PDS1, SLAC1, HY-5, APX1; *T. officinale* – CAB1, SLAC1, CIPK20. Основываясь на данных по дифференциальной экспрессии генов в контрольных и экспериментальных популяциях, был сделан вывод о наиболее вероятных молекулярных путях, вовлечённых в адаптацию растений к хроническому радиационному воздействию.

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭФФЕКТЫ НА ЛИПОСОМАХ ИЗ ПРИРОДНЫХ ЛИПИДОВ КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ

Л.Н. Шишкина¹, М.А. Климович¹, М.В. Козлов¹, Д.В. Парамонов²

¹Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

²НИИ биологического приборостроения ФМБА России, Москва, Россия
shishkina@sky.chph.ras.ru

Способность природных липидов образовывать мицеллы в полярной среде позволяет рассматривать водные дисперсии липосом как модель биологических мембран. Ранее установлено, что состав и физико-химические свойства природных липидов оказывают влияние на характеристики сформированных из них липосом, а показатели физико-химической системы регуляции перекисного окисления липидов (ПОЛ) характеризуются высокой чувствительностью к радиационным воздействиям на биообъекты. Выявленная однотипность функционирования системы регуляции ПОЛ на мембранном и органном уровнях позволяет предположить возможность использования липосом как модель для изучения механизма воздействия радиации на состояние окислительных процессов в органах животных.

Целью работы явилось изучить регуляцию процессов ПОЛ в липосомах, сформированных из разных природных объектов, в зависимости от дозы облучения.

Материалы и методы. Липосомы были сформированы из лецитин-стандарта (ЛС) разной степени окисленности и липидов, выделенных из печени и головного мозга половозрелых беспородных мышей (самки). Забой животных осуществляли в разные сезоны, чтобы модифицировать состав и характеристик липидов органов мышей и сформированных из них липосом. Для образования липосом суспензию липидов из объектов обрабатывали ультразвуком. Диапазон доз γ -облучения составлял от 0 до 7 кГр при мощности дозы 27.6, 26.4 и 29.9 Гр/мин для липосом из лецитина, липидов печени и головного мозга мышей соответственно. Об интенсивности ПОЛ судили по содержанию продуктов окисления, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП) и количеству кетодиенов (КД) и диеновых конъюгатов (ДК) в липидах. Состав липидов определяли методом ТСХ и спектрофотометрически.

Результаты. Воздействие γ -излучения вызывает снижение рН среды с увеличением дозы облучения во всех вариантах экспериментов. Это позволяет предполагать рост концентрации жирных кислот в среде вследствие радиолитического фосфолипидов (ФЛ) и усиления интенсивности окислительных процессов в ходе облучения, что подтверждается ростом доли лизоформ в составе ФЛ и содержанием ТБК-АП в среде. Наиболее устойчивой к действию радиации является прямолинейная взаимосвязь между содержанием КД и ДК в липидах липосом. Однако как в липидах контрольных липосом, так и после радиационного воздействия масштаб этой взаимосвязи зависит от исходных характеристик их липидов, антиоксидантного статуса органа и дозы облучения. Анализ зависимостей «эффект – доза излучения» для количественного соотношения фракций ФЛ и их обобщенных показателей показывает, что γ -излучение вызывает появление сложных нелинейных взаимосвязей в липосомах, сформированных из всех природных липидов. Ранее аналогичные закономерности были установлены и в экспериментах на лабораторных животных, и при обитании популяций грызунов в условиях повышенного радиационного фона.

Выводы. Совокупность данных и анализ литературы позволяют рассматривать липосомы, сформированные из природных липидов, как модель для анализа механизма возникновения радиационно-индуцированных эффектов в органах животных.

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА

А.А. Циннатти, С.М. Роднева, Д.В. Молодцова, Н.М. Сметанина, Ю.А. Федотов, Д.В. Гурьев

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

Denis.Guryev@gmail.com

Лучевая терапия является одним из основных методов лечения злокачественных новообразований. В условиях гетерогенности клеточной популяции наличие радиорезистентных клеток в опухолевой ткани остается одной из причин отсутствия положительных результатов лечения. Выяснение причин и механизмов этой резистентности, а вместе с тем и поиск способов её снижения, остается актуальной задачей экспериментальной и клинической онкологии и радиационной биологии на протяжении многих лет.

Целью исследования было выявление механизмов устойчивости опухолевых клеток человека к радиационному фактору на молекулярно-клеточном уровне.

Материал и методы исследований. В работе использовались линии опухолевых клеток человека A549 (карцинома легкого) и HeLa (карцинома шейки матки). Для получения радиорезистентных клеточных клонов, культуры подвергали однократному воздействию рентгеновского излучения на установке РУСТ-1М (Россия) в дозе 15 Гр и культивировали в течение одной недели для получения популяции активно пролиферирующих клеток. В дальнейшем облученные (РР) и необлученные (контроль) клетки подвергали острому однократному облучению в дозах 5 и 10 Гр. В обеих группах проводили сравнительный количественный анализ остаточных фокусов (спустя 24 часа после облучения) фосфорилированного корового гистона H2AX (γ H2AX) как маркера двунитевых разрывов ДНК (ДР ДНК), микроядер в двуядерных клетках, обработанных цитохалазином-Б с целью блокирования цитокинеза, а также клоногенную способность РР и контрольных клеток без дополнительного воздействия. Для оценки пролиферативной способности, был проведен сравнительный анализ кривых роста РР и контрольных клеток.

Результаты. Наблюдали значительное снижение остаточных фокусов γ H2AX в РР клетках по сравнению с контрольными после дополнительного тестового облучения культур в дозе 10 Гр (линия A549) и в дозах 5 и 10 Гр (линия HeLa). Также выявлено значимое снижение количества микроядер в РР клетках обеих линий после тестового облучения в дозах 5 и 10 Гр. Причем, в РР культурах доля клеток, содержащих три и более микроядер, крайне низка. Для оценки способности РР клеток давать репродуктивно активные клетки, был проведен сравнительный клоногенный тест. Согласно полученным результатам в трех независимых экспериментах выявлено, что клоногенность РР клеток линии A549 значительно выше, что подтверждает данные, полученные по фокусам репарации ДР ДНК и цитогенетическим показателям, а именно способность РР клеток более успешно репарировать летальные для клетки повреждения ДНК. Также установлено, что у РР клеток линии HeLa время удвоения популяции имеет значительную задержку по сравнению с контрольными клетками. Полагаем, что задержка в пролиферации связана с изменением времени прохождения клетками этапов клеточного цикла, что необходимо для более успешной репарации сложных и летально опасных повреждений ДНК.

Выводы. Таким образом, важнейшим механизмом, определяющим радиорезистентность опухолевых клеток человека, является их способность более эффективно репарировать потенциально летальные повреждения генетического материала.

СЕКЦИЯ 3

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А. В. Аклеев^{1,2}

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

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
akleyev@urcrm.ru

Хотя известно, что человек и различные виды экспериментальных животных способны переносить значительные дозы хронического облучения (ХО) без нарушения функции, особенности реакций тканей и отдаленных эффектов хронического низкоинтенсивного радиационного воздействия у человека остаются наименее исследованными до настоящего времени. Механизмы толерантности, по-видимому, имеют сложную природу. Особенностью ХО является длительное воздействие радиации, при котором эффекты альтерации, с одной стороны, и ответные репаративно-регенеративные процессы, с другой стороны, протекают параллельно. Предполагается, что существенное значение может иметь и радиоадаптация.

Целью работы являлся анализ ранних и отдаленных тканевых реакций, а также отдаленных радиационных эффектов у населения Уральского региона, подвергшегося хроническому облучению вследствие аварий на производственном объединении «Маяк».

Материалы и методы. По результатам многолетнего (1951-2020) проспективного исследования оценено влияние неравномерного облучения человека на состояние здоровья жителей прибрежных сел реки Течи и Восточно-Уральского радиоактивного следа, подвергшихся воздействию сочетанного внешнего γ -излучения и внутреннего облучения, обусловленного поступлением в организм смеси радионуклидов. Преимущественному воздействию подвергся красный костный мозг (ККМ), дозы облучения которого находились в широком диапазоне. Рассмотрены вопросы влияния внутриутробного облучения, а также облучения родителей до зачатия на здоровье потомков.

Результаты. Показано, что кроветворная система человека обладает достаточно высокой толерантностью к хроническому радиационному воздействию. У жителей прибрежных сел реки Течи в диапазоне поглощенных доз на ККМ до 9 Гр не было отмечено случаев летальной аплазии ККМ. Результаты исследования указывают на повышенный радиационный риск злокачественных опухолей по данным заболеваемости и смертности у жителей прибрежных сел реки Течи, который описывается линейной моделью дозового ответа. Получены доказательства наличия дозовой зависимости уровня их заболеваемости лейкозами, исключая хронический лимфолейкоз. Дозовый ответ хорошо описывается линейной моделью. Установлено, что ХО в дозах менее 0,5 Гр может приводить к возникновению избыточного риска смерти от сердечно-сосудистых заболеваний и ишемической болезни сердца. Атрибутивный риск смерти жителей прибрежных сел реки Течи от всех сердечно-сосудистых заболеваний составляет 1%, а от ишемической болезни сердца – 1,5%. Минимальный латентный период развития сердечно-сосудистых заболеваний составляет 15 лет. Рассматриваются оценки потенциальных эффектов у потомков облученных людей.

Выводы. Результаты исследования свидетельствуют о развитии у жителей прибрежных сел реки Течи детерминированных эффектов, таких как хронический лучевой синдром, а также о повышении у них радиационного риска злокачественных новообразований и сердечно-сосудистых заболеваний.

РАДИОАДАПТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРОМИКОБИОТЫ В МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА)

И.А.Алиев

Институт микробиологии НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

ilham-aliyev-59@mail.ru

Процессы роста и развития живых организмов, в том числе микроскопических грибов находятся в тесной взаимосвязи с условиями окружающей среды. Как известно, как физические, так и химические факторы окружающей среды процесс роста микромицетов либо стимулируют, либо ингибируют. Отметим, что радиация, как физический фактор, оказывая ионизирующее или же неионизирующее влияние на жизнедеятельность микромицетов, вызывает на видовом уровне внутри микокомплекса кардинальные изменения.

Представленная работа посвящена изучению изменений происходящих в структурном организмах микокомплекса, сформированного в окружающей среде, в том числе в коридоре и комнатах, в результате влияния радиации, образующейся в процессе работы рентгеновских, компьютерно-томографических и ядерно-магниторезонансных аппаратов, находящихся в Центре Республиканской Диагностики.

В ходе исследования были поучены до 70-и штаммов микромицетов, обитающих в комнатах с различным радиационным фоном. Было выявлено, что видовое разнообразие микобиоты, сформированного в комнатах с низким радиационным фоном ($0,009-0,1 \text{ мС/см}^2$) было достаточно насыщенным, и был представлен 27 видом микромицетов, относящихся к 10 родам. Стало известно, что микромицеты намного быстрее адаптируются к среде с низкой интенсивностью радиации. В это время микромицеты, будучи ярко окрашенными, в основном считаются сапротрофными организмами.

Было выяснено, что в комнатах с высоким фоном радиации ($40-60 \text{ мС/см}^2$) сформировавшегося микобиота с таксономического точки зрения, будучи в значительной степени умеренным и был представлен 13 видами микромицетов из 7 родов. Также в таких экстремальных условиях окраска микромицетов темнеет и в основном превращаются в представителей оппортунистов. К таким грибам можно отнести *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., *Cladosporium cladosporioides* G.A. de Vries, *Phoma leveillei* G.Y.Bollen, *Paecilomyces variotii* Bainier, *Stachybotrys chartarum* S. Hughes, *Stemphyllium botryosum* Walr. и т. д. Микромицеты обитающие в радиационной среде синтезируют пигмент меланин, что усиливает их протекторную функцию. Другими словами, накопление пигмента меланина на клеточных стенках грибов создает по отношению к ионизирующим лучам экранирующий слой, и это считается их защитным эффектом.

Таким образом, синтез пигмента меланина в реализации радиоактивных свойств микромицетов и в оценке их радиорезистентной способности играет достаточно важную роль.

**МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ
ПЕРВИЧНЫМ ГИПЕРПАРАТИРЕОЗОМ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ В РАЙОНАХ, ПОСТРАДАВШИХ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС**

О. Ф. Атрощенко, И.В. Пухтеева, Н.В. Герасимович

Международный государственный экологический институт имени
А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Республика
Беларусь
nvgerasimovich@mail.ru

В структуре заболеваний эндокринной системы первичный гиперпаратиреоз занимает четвертое место после сахарного диабета, ожирения и тиреотоксикоза. Судить о фактической распространенности этого заболевания в Республике Беларусь сложно, потому как скрининговые исследования по выявлению первичного гиперпаратиреоза до настоящего времени в нашей стране не выполнялись. Пациенты годами наблюдаются по поводу остеопороза, претерпевают неоднократные оперативные вмешательства по поводу нефролитиаза, костной патологии, мучаются от постоянных обострений язвенной болезни, зачастую оказываясь в сфере внимания эндокринных хирургов инвалидами. Большую часть случаев представляют пациенты трудоспособного возраста, что обуславливает медицинскую и социальную значимость проблемы.

В большинстве случаев гиперпаратиреоз является следствием наличия солитарной инкапсулированной гормонально-активной аденомы паращитовидной железы. Важное значение в этиологии первичного гиперпаратиреоза имеет, по-видимому, полиморфизм или мутации гена-рецептора витамина D. Возможное влияние ионизирующего излучения могло обусловить скачок заболеваемости через 30-40 лет латентного периода (например, в связи с аварией на ЧАЭС).

Цель данного исследования заключалась в анализе медико-экологических аспектов заболеваемости первичным гиперпаратиреозом населения Республики Беларусь, проживающего на территориях, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС.

Материалы и методы. Для оценки заболеваемости был проведен сравнительный анализ клинико-лабораторных и денситометрических показателей 60 пациентов с диагнозом первичный гиперпаратиреоз, находившихся на лечении в ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» г. Гомеля в период с 2014 по 2016 годы, а также данных лабораторно-денситометрического обследования до и после оперативного лечения аденомы паращитовидной железы. Статистический анализ данных выполняли с помощью пакета специализированных программ Statistica 6.0 (StatSoft).

Результаты. Согласно статистическим данным, возраст пациентов с диагнозом первичный гиперпаратиреоз колебался от 28 до 79 лет, медиана возраста составила 56,5 лет. Большинство пациентов с данной патологией (90%) были женского пола и 10% — мужского. Наблюдался рост заболеваемости у женщин в возрасте после 55 лет с наступлением менопаузы. Выявлена распространенность заболевания в регионах, пострадавших от аварии на ЧАЭС (Гомельской (48,3%), Могилевской (21,7%) и Брестской (20,0%) областях). Из всех пациентов паратиреоидэктомия привела к нормализации лабораторно-денситометрических показателей у 98%.

Выводы. Данные исследования показывают, что анализ экологических, демографических факторов, а также показателей клинико-лабораторных и денситометрических исследований позволяет выявить эндокринопатию, определить форму заболевания и его этиологию, наметить оптимальный способ лечения.

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ У ПАЦИЕНТОВ ЛПУ ФМБА РОССИИ, ПЕРСОНАЛА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРИКРЕПЛЕННОГО НАСЕЛЕНИЯ

А.П. Бирюков, Э.П. Коровкина, Ю.В. Орлов, И.Г. Дибиргаджиев

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
korovkina@fmbcfmba.ru

Канцерогенный эффект ионизирующей радиации неоднократно был изучен в эпидемиологических исследованиях, проведенных среди различных групп населения, подвергавшихся облучению по медицинским показаниям, на рабочем месте, включая ядерные производства, при испытании атомного оружия, в результате аварии на АЭС и других ядерных установках, и, наконец, при атомной бомбардировке Хиросимы и Нагасаки.

По данным МАИР число случаев злокачественных новообразований растет во всем мире, что, в основном, связано с увеличением продолжительности жизни. Ежегодно регистрируемое число впервые диагностированных случаев злокачественных новообразований к 2040 году увеличится с 17,0 миллионов до 27,5 (на 61,4%).

Целью нашего исследования является сравнительный анализ динамики заболеваемости злокачественными образованиями (ЗНО) и смертности среди работников радиационно опасных предприятий и населения, проживающего вблизи объектов атомной промышленности и ядерной энергетики в закрытых административно-территориальных образованиях (ЗАТО) за период 2012-2018гг. в сравнении с аналогичными данными по ЛПУ ФМБА России и РФ в целом.

Материалы и методы. Объектом исследования являются данные о злокачественных новообразованиях (ЗНО), полученные из ФГБУ ФЦИТЭП ФМБА России и данные МНИОИ им. П.А. Герцена - филиала НМИЦР МЗ РФ.

Для анализа заболеваемости ЗНО и смертности от них среди работников радиационно опасных предприятий и населения, проживающего вблизи объектов атомной промышленности и ядерной энергетики, в работе были рассчитаны и проанализированы грубые интенсивные (CR) показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями и смертности от них на 100 000 населения.

Результаты. Отмечен рост заболеваемости ЗНО как в ЗАТО ФМБА России (412,4-526,5), так и по всем ЛПУ ФМБА (328,4-390,1) и РФ в целом (367,3-425,5) за 2012-2018гг. Следует отметить, что заболеваемость ЗНО среди пациентов ЛПУ ФМБА России в данный период была ниже таковой по России.

Смертность от ЗНО в учреждениях здравоохранения ФМБА России в данном интервале времени составляет: 149,1–167,9, что значительно меньше российских показателей: 201,0–200,0. Смертность от ЗНО жителей ЗАТО (обслуживаемых ЛПУ ФМБА России) составила: 220,1-257,3, что превышает показатели по ЛПУ ФМБА и России (в целом). Что касается повозрастных показателей заболеваний ЗНО изучаемого контингента, можно отметить, что наибольшее число случаев ЗНО наблюдается в группах старших возрастов: 40-59 лет: 23,3-26,6%; 60-85 лет: 72,2-68,3% также как в РФ (в целом).

Выводы. Результаты исследования могут стать основой для разработки мероприятий по медико-социальной реабилитации работников предприятий и организаций, обслуживаемых лечебно-профилактическими учреждениями ФМБА России, а также прикрепленного контингента.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО СТАРЕНИЯ

Быков В.Н.^{1,2}, Федорос Е.И.¹, Пигарев С.Е.¹, Анисимов В.Н.¹

¹ НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия

² НПЦ «Фармзащита» ФМБА России, Московская обл.

bykov_imm@mail.ru

Отдаленные последствия радиационных поражений зачастую сопровождаются развитием патологических состояний, сходных с заболеваниями, обусловленными старением. Важная роль в их развитии принадлежит иммуновоспалительным процессам, дисрегуляции механизмов регенерации, стимуляции фиброзных и язвенно-некротических процессов, а также активации канцерогенеза. Развивая гипотезу об общности отдельных звеньев патогенеза заболеваний, обусловленных возрастными изменениями, и отдаленных последствий радиационных поражений, логично предположить, что предотвращение отдаленных последствий воздействия ионизирующих излучений (ИИ) может рассматриваться как перспективный путь увеличения продолжительности жизни. Адекватной моделью для оценки эффективности препаратов, предотвращающих развитие заболеваний, связанных с возрастом, может стать острое и хроническое лучевое воздействие.

Оценка эффективности геропротекторов, как и трактовка полученных результатов, вызывает серьезные дискуссии. Прежде всего это связано с отсутствием возможности проведения полноценных исследований на крупных животных (из-за длительных сроков экспериментов) и клинических исследований (поскольку старение не рассматривается как заболевание). И хотя невозможность использования крупных животных отчасти компенсируется проведением экспериментов на животных других видов, а также в условиях *in vitro*, именно это обстоятельство затрудняет полноценную экстраполяцию полученных данных на человека.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что механизмы реализации радиопротекторного и геропротекторного эффектов зачастую сопоставимы. Для отдельных веществ верно утверждение о том, что их радиозащитные эффекты определяют геропротекторное действие, а в ряде случаев противолучевой и антивозрастной эффекты практически равнозначны, например:

- при продолжительной лучевой терапии опухолей;
- при хроническом низкодозовом воздействии ИИ, связанном с профессиональной деятельностью или проживанием на радиоактивно-загрязненной местности;
- в условиях длительного космического полета, разработка препаратов для обеспечения которого представляет серьезный вызов современной медицине.

Есть основания полагать, что изменения, которые развиваются в организме после воздействия ИИ, в определенной степени схожи с изменениями, наблюдаемыми при естественном старении. В частности, это относится к индуцированному радиацией канцерогенезу, который в настоящее время рассматривается как модель, отражающая увеличение частоты развития злокачественных новообразований с возрастом. Сокращение продолжительности жизни при определенных режимах и дозах облучения может повысить привлекательность этой модели изучения возрастных изменений в связи с уменьшением сроков эксперимента. С учетом представленных данных, оценка радиозащитных свойств соединений относится к перспективным инструментам изучения их геропротекторных свойств, которая позволит провести межвидовую экстраполяцию на млекопитающих, не прибегая к продолжительным экспериментам.

АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПЕРСОНАЛА ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Вейалкин И.В., Никонович С.Н., Семененко О.Ф., Овчинникова О.П., Панкова С.В.,
Захарова О.Н., Боровская И.П., Чайкова Ю.В., Дрозд Е.А.*

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины
и экологии человека, Гомель, Беларусь
veyalkin@mail.ru

Одним из главных препятствий в оптимизации мероприятий по медицинскому наблюдению и обслуживанию персонала Полесского государственного радиационного экологического заповедника (далее – ППРЭЗ) является недостаточная изученность степени и характера влияния радиационных факторов на состояние здоровья сотрудников заповедника.

Цель проведенной работы заключалась в изучении заболеваемости персонала, выполняющего работы на территориях с высокой плотностью загрязнения (зона отчуждения), и разработке рекомендаций по динамическому медицинскому наблюдению.

Материалами исследования являлись результаты проведенного врачами-специалистами ГУ «РНПЦ РМиЭЧ» комплексного обследования 749 сотрудников ППРЭЗ (анкетирование, развернутые биохимические анализы крови, в том числе на электролиты и гормоны щитовидной железы), ретроспективная информация (о 1588 сотрудниках) о поглощенных дозах внешнего и внутреннего облучения и сведения о перенесенных заболеваниях за период с 2001 по 2018 гг. Средняя доза внешнего облучения персонала заповедника составляет 1,42 мЗв/год, внутреннего – 0,17 мЗв/год.

Проведенный эпидемиологический анализ данных позволил установить статистически значимо высокий относительный риск для рака желудка $SIR=2,5$ (1,31-4,21), прямой кишки $SIR=2,9$ (1,08-6,4) и тонкого кишечника $SIR=16,1$ (1,96-58,33), болезней щитовидной железы $SIR=1,79$ (1,56-2,04), ишемической болезни сердца $SIR=2,39$ (2,11-2,7), цереброваскулярных болезней $SIR=1,31$ (1,09-1,57), болезней мочеполовой системы $SIR=1,41$ (1,3-1,53), гастрита и дуоденита $SIR=1,18$ (1,04-1,34).

Проведенное биохимическое исследование крови особых различий у работников ППРЭЗ с референтными уровнями не выявило. При этом настораживает большая доля лиц с высоким уровнем кальция в крови (5,4 (3,1-8,8)%). Проведенный анализ биохимических показателей крови подтвердил у 20% сотрудников предрасположенность к развитию атеросклероза и как следствие ИБС и цереброваскулярных болезней.

В результате проведенного исследования состояния здоровья и дозиметрической информации были разработаны методические рекомендации по раннему выявлению заболеваний и снижения доз облучения персонала Полесского государственного заповедника. В связи с полученными результатами исследований, акцент в рекомендациях ставился на повышение уровня ранней диагностики и профилактики заболеваний щитовидной железы, сердечно-сосудистой и цереброваскулярной системы, онкологических заболеваний желудочно-кишечного тракта.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЧАСТОТЫ ТРАНСЛОКАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ОБЛУЧЁННЫХ ЛИЦ ОТ ВОЗРАСТА НАЧАЛА ОБЛУЧЕНИЯ

А. В. Возилова¹

¹ Уральский научно-практический центр радиационной медицины» ФМБА России,
Челябинск, Россия
vozilova_a@mail.ru

Эффекты от воздействия ионизирующего излучения на человека зависят не только от радиационных факторов (вид излучения, доза, мощность дозы), влияние оказывают также факторы нерадиационной природы – пол, возраст и другие.

Целью данного исследования был анализ зависимости частоты транслокаций в лимфоцитах периферической крови облучённых на Южном Урале лиц от возраста на момент начала облучения.

Материалы и методы. В исследование были включены 138 человек, подвергшихся хроническому неравномерному (γ -внешнему и внутреннему преимущественно за счет ^{90}Sr) облучению из-за сброса жидких радиоактивных отходов в реку Теча. Критическим органом при таком воздействии был красный костный мозг (ККМ). Диапазон доз на ККМ у обследованных располагался в ряду от 0,01 Гр до 2,4 Гр [TRDS 2016]. Для исследования было сформировано три группы: 1 Группа «0 – 7 лет» – лица, облучение у которых началось внутриутробно или после рождения до 7 лет включительно. В группе обследовано 43 человека (16 мужчин). Средняя доза на ККМ равна 0,9 Гр (диапазон доз 0,03 Гр до 1,95 Гр). 2 Группа «8 – 17 лет» - лица, облучение которых началось в период с 8 до 17 лет включительно, обследовано 43 человека (18 мужчин). Средняя доза на ККМ была равна 0,8 Гр (0,01 до 2,27 Гр). 3 Группа «18 лет и старше» - лица, облучение которых началось в период с 18 лет и старше. Обследовано 52 человека (13 мужчин). Средняя доза на ККМ равна 0,7 Гр (0,01 Гр – 2,4 Гр).

Цитогенетические препараты получали из ФГА стимулированных Т-лимфоцитов крови. Частоту транслокаций оценивали в трех парах хромосом - #1, #4, #8, что составляло 23% всей хромосомной ДНК клетки, затем проводили пересчет на весь геном клетки [Vozilova A.V. 2013]. Чтобы унифицировать влияние возраста пациента на момент забора крови, из общего количества транслокаций вычитали фоновое значение, используя уравнение Sigurdson A. 2008. Всего было проанализировано 69055 геном эквивалентов (ГЭ), обнаружено 1540 транслокаций.

Результаты. Максимальные уровни транслокаций были отмечены в группе лиц, облучение которых началось в детстве до 7 лет. Несколько ниже частота транслокаций была отмечена у людей из группы «8 - 17 лет» (медианы на 1 ГЭ 0,0112 и 0,0075 соответственно). Эти группы между собой достоверно не отличались, но их значения достоверно превысили частоту транслокаций, отмеченную у лиц, облучение которых началось в возрасте 18 лет и старше.

Выводы. В отдаленные сроки при одних и тех же дозах на ККМ у людей, облучение которых началось в раннем детском возрасте, чаще наблюдаются Т-клетки с транслокациями по отношению к донорам, которые начали облучаться взрослыми. Различия можно объяснить снижением с возрастом интенсивности миграции клеток предшественников Т-лимфоцитов из КМ в тимус и далее, поскольку именно предшественники, облучаясь в костном мозге, несут транслокации и передают их своим потомкам [Е.И. Толстых 2019]. Данные могут быть востребованы для коррекции ретроспективной оценки доз у населения прибрежных сел реки Теча, полученной на основе оценки частоты транслокаций в Т-лимфоцитах периферической крови.

ДАННЫЕ СИЧ-ИЗМЕРЕНИЙ – ОСНОВА РЕКОНСТРУКЦИИ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Дрозд Е.А., Власова Н.Г.

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии
человека, Гомель, Беларусь
e.a.drozd@mail.ru

Данные СИЧ-измерений являются интегральным показателем поступивших в организм человека радионуклидов с рационом питания. Значительный объем данных СИЧ-измерений, проведенных у жителей населенных пунктов, расположенных на радиоактивно загрязненной территории Республики Беларусь, позволяет использовать их для исследования закономерностей формирования индивидуальных доз внутреннего облучения. Информация об индивидуальных дозах необходима при проведении радиационно-эпидемиологических исследований.

Цель работы – разработать метод реконструкции индивидуализированных доз внутреннего облучения на основе данных СИЧ-измерений.

Материалы и методы. «База данных СИЧ-измерений жителей Республики Беларусь за период 1987–2012 гг.»; «База данных плотностей загрязнения территории населенных пунктов Республики Беларусь радионуклидами цезия». Методы исследования: инструментальные измерения содержания в организме радионуклидов цезия на СИЧ и методы прикладной статистики.

Результаты. Средние дозы внутреннего облучения мужчин на 30% превышают таковые у женщин. Проведенный статистический анализ позволил выявить четыре возрастные группы, как среди мужчин, так и среди женщин, значимо различающиеся по средним значениям дозы внутреннего облучения. Проведение однофакторного дисперсионного анализа позволило выявить среди населения старше 18 лет три группы профессий для лиц женского пола и четыре группы профессий для лиц мужского пола. Установлено, что на кривой распределения дозы каждая возрастная группа с учетом профессии и пола занимает определенное место постоянное во времени, что позволяет прогнозировать дозы облучения у лиц, относящихся к определенной группе, учитывающей пол, возраст и профессиональную занятость, по соответствующему ей квантилю распределения дозы.

Методической основой реконструкции индивидуализированных доз внутреннего облучения лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате катастрофы на ЧАЭС, явилась выявленная в результате проведенных статистических исследований устойчивость во времени квантилей распределения дозы внутреннего облучения, соответствующих средним дозам определенных групп по возрасту с учетом профессии и пола. Сравнительный анализ доз внутреннего облучения, рассчитанных по разработанному методу и по результатам СИЧ-измерений показал, что ошибка оценки в среднем составила 20%.

Заключение. Разработанный метод позволил реконструировать индивидуализированные годовые дозы внутреннего облучения и рассчитать накопленные дозы внутреннего облучения за весь послеаварийный период. Результаты внедрены в работу Государственного регистра лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате катастрофы на ЧАЭС, других радиационных аварий и практику проведения радиационно-эпидемиологических исследований.

КЛИНИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАТОЛОГИИ ВЕРХНИХ ОТДЕЛОВ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ЖИТЕЛЕЙ, ПОСТОЯННО ПРОЖИВАЮЩИХ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

С.В. Дударенко, С.Н. Лопатин, О.В. Леонтьев

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова
МЧС России, Санкт-Петербург, Российская Федерация
lopatinspb05@mail.ru

Цель исследования: изучение и оценка клинико-морфологических особенностей патологии верхних отделов пищеварительного тракта у населения РЗТ в ближайший и отдаленный после аварии на ЧАЭС период наблюдения.

Методы: фиброгастродуоденоскопия, цитологическое исследование гастробиоптатов, микроядерный тест, дозиметрическая оценка гастробиоптатов. Для решения вопросов о взаимосвязи факторов аварии на ЧАЭС и состояния слизистой оболочки верхних отделов пищеварительного тракта проведена медико-статистическая оценка зависимостей частоты патологии верхних отделов желудочно-кишечного тракта и экологических факторов аварии в ближайший и отдаленный период.

Результаты: установлено, что основными морфологическими типами, описывающие состояние слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки у обследованных являются: эрозивные, отежные, фиброзные изменения на фоне инфицирования *Нр*, а также развитие воспалительно-клеточной инфильтрации. Частота встречаемости микроядер в мукоцитах слизистой оболочки не зависит от частоты инфицирования *Helicobacter pylori*, а так же суммарной альфа- и бета-активности биоптатов слизистой оболочки желудка, плотности загрязнения территории по ^{90}Sr и ^{137}Cs . Взаимосвязь между частотой гастродуоденальной патологии и уровнями загрязненности территории постоянного проживания по ^{90}Sr и ^{137}Cs , а так же статистические закономерности оценки суммарной альфа- и бета-активностью гастробиоптатов у жителей РЗТ за длительный период наблюдения не являются статистически значимыми.

Выводы: характер и клиническая картина патологии верхних отделов пищеварительного тракта, динамика течения патологического процесса от воспалительно-дистрофических до атрофических изменений слизистой оболочки желудка, отсутствие связи указанной патологии с показателями экологического неблагополучия по изотопному составу территорий свидетельствуют о том, что причиной вышеуказанных закономерностей может являться действие комплекса факторов аварии на ЧАЭС.

МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧАЭС

Дударенко С.В., Новицкий А.А.

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М.Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Цель данного исследования – обобщение результатов наблюдения за пострадавшими от аварии на ЧАЭС.

Материалы и методы: медико-статистическая обработка заболеваемости, инвалидности и смертности, а так же динамическая оценка результатов иммунологических, биохимических, генетических, морфологических исследований у пострадавших от воздействия факторов аварии за более 30-летний период.

Результаты. Основным негативным результатом Чернобыльской катастрофы стало нарушение здоровья жителей загрязнённых территорий и тех, кто участвовал в ликвидации непосредственных последствий аварии на самой АЭС. Анализ имеющихся научных исследований и научных публикаций по проблеме воздействия на человека факторов аварии на ЧАЭС свидетельствует, что в оценке медицинских последствий аварии на ЧАЭС радиационный фактор не является определяющим. Среди причин, вызывающих нарушения здоровья в результате аварии на ЧАЭС, в настоящее время принять констатировать не радиационный фактор, а комплекс факторов аварии на ЧАЭС. Это утверждение вытекает из изучения тех механизмов, которые могли привести к нарушению здоровья жителей загрязнённых территорий (РЗТ) и ликвидаторов последствий аварии (ЛПА). Эти механизмы воздействовали на здоровье одномоментно и в настоящий момент не представляется возможным вычленить какой-либо фактор из комплекса причин расстройств здоровья. К комплексным факторам нарушений здоровья у ЛПА и жителей РЗТ можно отнести:

- многолетнее психоэмоциональное перенапряжения, обусловленное фактом «ожидания угрозы здоровью»;
- изменившаяся качественная сторона питания в виде ограничения потребления некоторых продуктов (прежде всего овощей и фруктов) вследствие опасения попадания в организм радионуклидов и токсикантов;
- изменившийся уклад жизни, социальное напряжение в обществе в силу экономических и социальных причин;
- инкорпорация радионуклидов и внешнее облучение, а так же ряда токсических веществ, которые попали во внешнюю среду и пищевую цепочку при комплексе мероприятий по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС (прежде всего это свинец)

Выводы: Медицинские последствия радиационной аварии на ЧАЭС можно условно распределить на две группы: 1.радиологические и токсико-радиологические (являются результатом непосредственного воздействия ионизирующего излучения и токсических компонентов на человека при ликвидации аварии на ЧАЭС); 2.различные причины общего расстройства здоровья, обусловленные другими факторами аварии нерадиационной природы. Характерной особенностью соматической патологии у ЛПА на ЧАЭС и жителей РЗТ является ее коморбидность. При этом число заболеваний и их сочетание у одного человека прямо коррелировала с возрастом обследованных. Указанная патология взаимосвязана со следующими основными патофизиологическими механизмами: активация тромбоцитарной активности и свободнорадикального окисления липидов, системы цитокинов и дисфункции эндотелия сосудов; эндокринного дисбаланса и атерогенеза; нарушением клеточной дифференцировки и вторичным иммунодефицитом, развитием метаболических расстройств и срыве иммунологической толерантности.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МЕРЦАТЕЛЬНОГО ЭПИТЕЛИЯ МАТОЧНЫХ ТРУБ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХРОНИЧЕСКОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ

О.В. Ермакова¹, Т.В. Кораблева²

¹Институт биологии ФИЦ КНЦ Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия

²Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Россия

ermakova@ib.komisc.ru

С целью изучения влияния низкоинтенсивного ионизирующего излучения (ИИ) на гистофункциональные возможности репродуктивной системы использовали основные параметры активности мерцательного эпителия маточных труб (МТ). Основная задача МТ – обеспечение жизнедеятельности эмбриона на ранних стадиях развития и осуществление его переноса в полость матки, этому способствуют реснички мерцательных клеток, которые вместе со слизью образуют мукоцилиарную транспортную систему (МЦТ). Известно, что под влиянием многих патогенных факторов происходит нарушение биения ресничек эпителиоцитов, изменение характеристик секрета желез, а так же создаются предпосылки для нарушения мукоцилиарного клиренса (МЦК). Оценка состояния МЦК при различных патогенных воздействиях, включая и радиационные, является крайне важной, так как нарушения МЦК играют значительную роль в патогенезе многих болезней репродуктивной системы; до сих пор этот вопрос недостаточно изучен.

Цель нашей работы – изучение активности МЦТ мерцательного эпителия МТ крыс линии Вистар при хроническом воздействии малых доз радиации.

Материалы и методы. С помощью комплексной методики прижизненного наблюдения двигательной активности цилиарного аппарата (ДАЦА) в сочетании с морфометрическими методами (А.В.Павлов с соавт., 2019) исследовано влияние длительного воздействия низкоинтенсивного γ -излучения в дозах 0,05 и 0,5 Гр (мощность дозы – 35-40 мкГр/ч, и 350-400 мкГр/ч, взятие материала – в течение 10 сут после облучения) на ДАЦА МТ у 21 самки крыс линии Вистар репродуктивного возраста. Анализ ДАЦА проведен с помощью диагностического комплекса НПК «Азимут» (Россия), состоящего из микроскопа Микмед-6 (увеличение $\times 400$ и $\times 1000$) с термостолком, высокоскоростной видеокамеры «Эндокам» с платой видеозахвата и персонального компьютера с программным обеспечением «Oscillation». Для поддержания частоты биения ресничек использовали питательную среду «Игла МЕМ для культур клеток» при температурном режиме 40° С. На гистологических препаратах МТ изучали морфометрические параметры клеток эпителиального пласта.

Результаты прижизненного исследования изменений слизистой оболочки показали, что при хроническом облучении в дозах 0,05 и 0,5 Гр происходит статистически значимое уменьшение параметров ДАЦА в МТ животных на 13,2 – 14,3%% по сравнению с контрольной группой (0,5 Гр – $16,08 \pm 0,2$ Гц; 0,05 Гр $15,59 \pm 0,2$ Гц; контроль – $18,2 \pm 0,5$ Гц), на гистологических препаратах зафиксировано уменьшение размеров клеток эпителиального пласта на 26% (с 9,1 мкм в контроле до 6,73 мкм после облучения).

Выводы. Полученные данные показывают, что малые дозы ИИ в хроническом режиме могут непосредственно проявляться на уровне физиологических реакций клеток уже в дозе 0,05 Гр, инициируя дисфункцию двигательной активности эпителия МТ и их структурную перестройку, что свидетельствует о высокой чувствительности данной системы. Экспериментально обосновывается информативность использованных методических подходов в качестве чувствительных маркеров индуцированных радиацией гистофункциональных нарушений мерцательного эпителия МТ.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГИСТОЭНЗИМОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ГЕМОКАПИЛЛЯРОВ СТАРОЙ И ДРЕВНЕЙ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ АЛКОГОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ И ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ильичева В. Н., Соколов Д. А., Насонова Н.А.

ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Воронеж, Россия

veravgma@rambler.ru

Одной из проблем радиобиологии является изучение изменений транскапиллярного обмена в головном мозге при действии различных антропогенных факторов. Метаболический процесс в клетках и тканях обеспечивается изменением активности ферментов, маркирующих место и интенсивность трансформации, позволяет выявить структуры, принимающие участие в обеспечении функций. Так образом, определение активности ЩФ (щелочной фосфомоноэстеразы) служит биохимическим индикатором лучевого поражения

Целью настоящей работы явилось изучение активности ЩФ в эндотелии капилляров старой и древней коры головного мозга при алкогольной интоксикации и действии ионизирующего излучения.

Материалы и методы. Эксперимент спланирован и проведен в ГНИИИ военной медицины МО РФ (г. Москва). В эксперименте использовали 550 белых крыс-самцов массой 180–200 г, разделенных на 3 группы. Первую группу (биологический контроль) составили интактные крысы. Животным второй группы производилось однократное внутрибрюшинное введение 15%-ного раствора этилового спирта в дозе 2,25 г/кг в асептических условиях. Животных третьей группы подвергали облучению γ -квантами ^{60}Co в дозе 87,5 Гр. Материал для исследования получали через 3 и 60 мин. после воздействия изучаемых факторов. Активность ЩФ, относящейся к группе эстераз и локализуемой в эндотелии сосудов, выявляли на криостатных срезах после стабилизации мембран при $t=+4^\circ\text{C}$ в смеси равных объемов ацетона и хлороформа с использованием общепринятой методики. Количественный анализ активности ЩФ проводили стереометрическим методом (Г. Г. Автандилов, 1980). Протокол экспериментов в разделах выбора, содержания животных и выведения их из опыта был составлен в соответствии с принципами биоэтики и правилами лабораторной практики, представленными в «Международных рекомендациях по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (1985) и приказе МЗ РФ №267 от 19.06.2003 г. «Об утверждении правил лабораторной практики».

Результаты. Нами установлено, что введение этанола в дозе 2,25 г/кг в ранние сроки (через 3 мин.) вызывало понижение активности ЩФ в изучаемых отделах коры, а через час наблюдалось незначительное ее повышение, не превышающее исходный уровень активности фермента. При облучении крыс в дозе 87,5 Гр наблюдалась сходная тенденция к увеличению активности ЩФ в старой и древней коре головного мозга. Спустя 60 мин. после воздействия γ -облучения активность ЩФ достоверно уменьшалась, по сравнению с контролем.

Выводы. Таким образом, этиловый спирт в дозе 2,25 г/кг снижает уровень активного транспорта через стенку капилляров на протяжении всех сроков наблюдения. Воздействие ионизирующего излучения, напротив, способствует стимуляции транскапиллярного переноса в ранние сроки, с последующим его угнетением.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В КОРЕ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС

В.Н. Ильичева¹, А.С.Штемберг²

¹ ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, г. Воронеж, Россия

² ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
veravgma@rambler.ru

Динамика изменений активности ферментов энергетического обмена в головном мозге является информативным показателем, характеризующим раздражающее действие экзогенного фактора на нейроны.

Целью исследования явилось изучение зависимости изменений биоэнергетического обмена при действии малой дозы (0,5 Гр) радиации на различные отделы коры головного мозга.

Материалы и методы. Объектом исследования служили новая: (НК) (верхняя лобная извилина (ВЛИ) (Fr^2), передняя лимбическая область (ПЛО) (Cg^3), старая (СК) (зоны гиппокампа CA1-CA4, зубчатая фасция (ЗФ), древняя кора (ДК) (пириформная зона (ПЗ) (Paxinos G., Watson C., 2004)., головного мозга 60 белых беспородных крыс-самцов через 1 сут, 6 мес., 1 г., 1,5 г после однократного общего гамма-облучения в дозе 0,5 Гр. Выявление активности дегидрогеназ проводилось по общепринятым методикам. Содержание продукта реакции оценивали по оптической плотности с помощью программы «Видео-Тест-Морфо».

Результаты. В стадию начальных изменений (первые сутки) в Fr^2 на фоне снижения активности пентозофосфатного пути и гликолиза наблюдалась стимуляция цикла лимонной кислоты. В то же время в Cg^3 уменьшение активности Г-6-ФДГ (глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы) происходит увеличение активности гликолиза, при этом активность СДГ (сукцинатдегидрогеназы) остается на исходном уровне. В исследуемых областях СК увеличение активности СДГ и ЛДГ (лактатдегидрогеназы) сопровождается снижением активности Г-6-ФДГ. В ПЗ активизация пентозофосфатного пути происходит на фоне снижения активности ЛДГ и СДГ. В начале стадии выраженных изменений (6 месяцев после воздействия) в исследуемых зонах новой коры наблюдается снижение активности ферментов биоэнергетического обмена. Далее, в течение последующих 6 месяцев, возрастает активность СДГ и Г-6-ФДГ. При этом в Fr^2 снижается активность ЛДГ – маркера гликолиза в 2 раза по сравнению с исходным уровнем, а в Cg^3 – приближается к контрольным значениям. В изучаемых зонах старой коры через 6 мес. после воздействия на фоне некоторого повышения активности СДГ и Г-6-ФДГ наблюдается снижение процессов гликолиза. К году в СК – повышение активности СДГ и ЛДГ и возвращение к контрольному – Г-6-ФДГ. В ДК на фоне снижения СДГ, наблюдается синхронное изменение активности ЛДГ и Г-6-ФДГ: повышение через 6 мес. после воздействия и возвращение к исходному уровню через 1 год. В стадию восстановления (до 1,5 лет) в зоне Fr^2 происходит снижение: СДГ и ЛДГ и увеличение Г-6-ФДГ. В Cg^3 уменьшение активности ЛДГ сопровождается повышением активности СДГ и Г – 6 – ФДГ. В СК наблюдается активация цикла трикарбоновых кислот и пентозофосфатного пути и угнетение процессов гликолиза. В ПЗ снижение аэробных процессов извлечения энергии сопровождается активацией гликолиза и пентозофосфатного пути.

Выводы. Таким образом, ключевым механизмом защиты энергетического обмена нейроцитов коры головного мозга после однократного гамма-облучения в дозе 0,5 Гр является мобилизация пентозо-фосфатного пути превращения углеводов. Степень изменений и время компенсаторных процессов зависит от филогенетического возраста исследуемой структуры головного мозга.

УРОВЕНЬ ДОКАЗАТЕЛЬНОСТИ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИНАХ РАДИАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ

А.Н. Котеров, Л.Н. Ушенкова, А.П. Бирюков

ГНЦ РФ — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна
ФМБА России
govorilga@inbox.ru

Основной задачей экспериментальных естественнонаучных дисциплин является получение данных, которые можно распространить на человека (здравоохранение, диетология и пр.). При этом определение эффектов лекарств, средств терапии и патогенов предусматривает эксперименты только на людях (от Авиценны («проверка на львах и конях не годится») до основ доказательной медицины, начиная от D.L. Sackett 1990-х гг.). В связи с данным фактом, в медицине с 18–19 в. эффекты определяются в контролируемых исследованиях на людях, а с 1948 г. — в рандомизированных контролируемых испытаниях с двойным ослеплением; RCT.

Для доказательной медицины, начиная с 1979 г. (Canadian Task Force) и до настоящего времени (Howick J. et al., Марцевич С.Ю., Кутишенко Н.П., 2016 и мн. др.), наверху доказательной иерархии находятся RCT вкупе с систематическим обзором и мета-анализом их же. Даже самому убедительному обсервационному дизайну — когортным исследованиям, придается намного меньшая доказательная категория вследствие априорной невозможности устранить неизвестные конфаундеры (еще ниже — методология «случай—контроль»). Диапазон применения RCT, однако, достаточно узок — это преимущественно эффекты фармпрепаратов и средств терапии. Дело в том, что испытываемое воздействие должно, теоретически, расцениваться как благоприятное. Поэтому использование RCT для дисциплин радиационного профиля ограничивается только радиотерапией (мн. источников; первое настоящее RCT — Paterson R., Russell M.J., 1959), бальнеологией (см. в Becker K., 2000) и, редко, иммуностимуляцией малыми дозами радиации при раке (Reissfelder C. et al., 2011). Остальные исследования в области радиационной эпидемиологии и радиационной гигиены и медицины, которые связаны с повреждающими эффектами излучения, ограничиваются только обсервационными методологиями.

В результате возникает проблема «облегченной» доказательности в названных областях сравнительно с общей медициной и фармакологией, причем имеются данные, что обсервационные дизайны, отсутствие рандомизации и «ослепления», сравнительно с классическими RCT, принятыми за «золотой стандарт» (термин с Feinstein A.R., Horwitz R.I., 1982) завышают риски (Chalmers I., 1977; Davidson I., Hillier V.F., 2002). В медицине и фармакологии превозношение RCT, как отмечалось и отмечается (Feinstein A.R., 1985; Bothwell L.E. et al., 2016), носит «почти религиозный характер».

Недавние исследования, однако, не подтвердили ущербность обсервационных методологий как таковых, венцом чего является мета-анализ Кокрейновского сотрудничества (Anglemyer A. et al., 2014). Сравнительно с RCT по одним и тем же эффектам не было обнаружено отличий в относительных рисках. И ныне приходят к заключению, что ранее регистрируемая разница была обусловлена различным качеством проводимых исследований, и что сходная картина наблюдается при сравнении двух RCT различного качества — играют роль недостатки «ослепления», рандомизации, неустраняемые уклоны и пр. (Vandenbroucke J.P., 2011).

Вывод. Используемые в медико-биологических дисциплинах радиационного профиля обсервационные методологии определения причинности *повреждающих* эффектов излучения являются корректными даже с позиции доказательной медицины.

СОДЕРЖАНИЕ CD34+-КЛЕТОК В ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ОБЛУЧЕННЫХ ЛИЦ В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ

А. И. Котикова^{1,2}, Е. А. Блинова^{1,2}, А. В. Аклеев^{1,2}

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

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
kotikovaalisa@gmail.com

Целью данной работы являлась оценка абсолютного и относительного количества CD34+-клеток в периферической крови лиц, облученных в широком диапазоне доз, в отдаленном периоде после радиационного воздействия.

Материалы и методы. В исследовании были включены 145 человек, проживавшие в прибрежных селах реки Течи с 1950 по 1960 года. Исследуемые лица составили две группы: облученные в период внутриутробного и постнатального развития (82 человека) и облученные только постнатально (63 человека). Средний возраст облученных в период внутриутробного и постнатального развития составил $64,9 \pm 0,3$ года (60 – 70); для облученных постнатально – $75,2 \pm 0,5$ лет (69 – 87). Внутриутробная доза на красный костный мозг (ККМ) в группе облученных в период внутриутробного и постнатального развития в среднем составила $0,03 \pm 0,008$ Гр ($3 \cdot 10^{-7}$ – 0,36 Гр), кумулятивная постнатальная доза на ККМ – $0,2 \pm 0,04$ Гр ($6 \cdot 10^{-4}$ – 1,7 Гр). Для облученных постнатально средняя доза на ККМ составила $0,6 \pm 0,08$ Гр ($4 \cdot 10^{-4}$ – 2,93 Гр). Количественная оценка содержания CD34+-клеток в периферической крови облученных лиц производилась с помощью набора реагентов Stem-Kit (Beckman Coulter, Франция) на проточном цитометре Epix XL (Beckman Coulter, США). Статистическая обработка данных производилась в программе SigmaPlot с использованием U-критерия Манна-Уитни и корреляционного анализа по Спирмену.

Результаты. У лиц, облученных в период внутриутробного и постнатального развития, абсолютное количество CD34+-клеток составило $51 \pm 5,79$ кл/мкл (11 – 318) и относительное – $0,06 \pm 0,008\%$ (0,01% – 0,44%). В группе облученных постнатально абсолютное содержание CD34+-клеток составило $39,9 \pm 5,19$ кл/мкл (8 – 300), относительное – $0,05 \pm 0,007\%$ (0,01% – 0,40%). Не было обнаружено статистически значимого различия количества CD34+-клеток в группах облученных лиц.

По результатам корреляционного анализа в группе облученных в период внутриутробного и постнатального развития наблюдалось снижение количества CD34+-клеток в зависимости от возраста ($r = -0,4$, $p = 0,0003$ для абсолютного количества; $r = -0,3$, $p = 0,03$ для относительного количества) и кумулятивной постнатальной дозы облучения ККМ (только для абсолютного количества: $r = -0,3$, $p = 0,02$), статистически значимых связей количества CD34+-клеток с внутриутробной дозой облучений ККМ не обнаружено. В группе облученных постнатально также выявлено снижение содержания CD34+-клеток в периферической крови с возрастом на момент исследования ($r = -0,4$, $p = 0,0005$ для абсолютного количества; $r = -0,4$, $p = 0,0007$ для относительного количества), но наблюдается повышение содержания CD34+-клеток с увеличением дозы облучения ККМ ($r = 0,4$, $p = 0,005$ для абсолютного количества; $r = 0,3$, $p = 0,01$ для относительного).

Выводы. У лиц, облученных в разные периоды онтогенеза, обнаружено снижение количества CD34+-клеток с возрастом, также показаны разнонаправленные изменения количества CD34+-клеток в зависимости от накопленной дозы облучения ККМ как для лиц, облученных только постнатально, так и для лиц, облученных внутриутробно и постнатально. Полученные результаты считаются предварительными, и требуют дальнейших исследований с увеличением объема выборки.

ГОМЕЛЬСКАЯ КЛЕТКА

В.Ю. Кравцов

Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

kvyspb@mail.ru

Главный негативный итог чернобыльской трагедии очевиден и доказан временем: *«Среди медицинских последствий аварии для населения статистически достоверным признано увеличение заболеваемости раком щитовидной железы среди лиц, которые в момент облучения были детьми и подростками».*

Мишенью для радиации является молекула ДНК, а маркерами - дицентрические и кольцевые хромосомы. Деление клеток с дицентриками неизбежно приводит к появлению клеток с аномальными интерфазными ядрами определенной формы, при этом аномальная часть ядра в прямом смысле состоит из aberrантных дицентрических и кольцевых хромосом. Эти кариопатологии (мосты) имеют один общий цитогенетический (дицентрический) генезис; они же и есть клеточные маркеры облучения. В «йодный период» после аварии имело место накопление радиоизотопов йода в щитовидной железе и это не могло не привести к патологическим изменениям пролиферирующих тироцитов. В клеточных популяциях растущей щитовидной железы должны возникать межъядерные хроматиновые мосты.

Дицентрики запускают циклы «разрыв-слияние-мост» на 10-12 клеточных делений и только после этого элиминируются. к этому остается добавить ограниченный пролиферативный потенциал тироцитов. Поэтому, кариопатологические изменения (мосты) в тироцитах должны сохраняться у облучённых радиоактивным йодом в детском и подростковом возрасте, в котором ещё формируется щитовидная железа и проходят митозы в её фолликулярном эпителии. Таким образом, учитывая неизбежность попадания в мишень, высокие дозы накопления радиойода в щитовидной железе (в среднем 1,2Гр) и высокую воспроизводимость биофизических эффектов мы обязаны найти универсальный патоморфологический маркер «йодного удара».

Были проведены цитопатологические исследования щитовидной железы в архивах препаратов Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека, г. Гомель, Республика Беларусь, исследовали ретроспективно более 1000 «детей Чернобыля». Расчетная поглощенная доза облучения обследуемых варьировала от 0,2 Гр до 2,3 Гр и в среднем составила 1,2 Гр. Средний возраст на момент аварии в группе гомельских пациентов составил $8,9 \pm 1,7$ лет. Средний срок реализации заболеваемости щитовидной железы с формированием зоба в обследованной группе составил $13,8 \pm 1,8$ лет. Оказалось, что частота встречаемости тироцитов с мостами и «хвостатыми» ядрами в 5-10 раз превышает таковой показатель в группах сравнения, как при одно- и многоузловых зобах ($p < 0.001$), так и при папиллярном раке ($p < 0.0001$).

В фолликулярном эпителии среди клеток с мостами в 10-20% случаев выявлялись мосты аномально большой длины (20-50 мкм). Такие узнаваемые тироциты были названы «Гомельскими клетками»

Рост микрофолликулов и накопление в них коллоида при низкой митотической активности в фолликулярном эпителии способствовали тому, что мосты, образованные дицентриками растягивались медленно и длительно. Таким образом, гигантские мосты - это свидетели отдаленных лучевых воздействий и, вероятнее всего, они были индуцированы в йодный период Чернобыльской аварии (в момент «йодного удара»). Гигантские мосты в фолликулярном эпителии мы наблюдали только лишь в мазках из зобов у пациентов из Гомельской области.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЛОМЕРНЫХ РАЙОНОВ ХРОСОМ В Т-ЛИМФОЦИТАХ ЛЮДЕЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ ХРОНИЧЕСКОМУ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Кривошапова Я. В.

УНПЦ РМ ФМБА России, Челябинск

yana_ho@mail.ru

Работа посвящена исследованию длины теломер в Т-лимфоцитах. Участники исследования были поделены на две группы. В первую группу вошли лица, подвергшиеся хроническому радиационному воздействию в результате сброса радиоактивных отходов ПО Маяк (Южный Урал, Россия) в реку Течу. Во вторую – необлученные лица.

Теломерные районы оценивались на препаратах метафазных хромосом. В ходе исследования определяли длину теломер всех 46 хромосом, распределенных по трем группам – метацентрики, субметацентрики, акроцентрики.

Теломерные участки были окрашены методом FISH с молекулярными зондами производства ДАКО, для окраски хроматина применяли краситель DAPI, в качестве реперного сигнала служил центромерный район второй хромосомы. Изображения были оцифрованы с использованием микроскопа Axio Imager Z2 (Carl Zeiss, Германия) с ПО модулем «Isis». Программа оценки длины теломерного участка вычисляет длины теломер как отношение между интенсивностью флуоресцентного сигнала теломер (Т) и сигнала от центромеры хромосомы #2, используемой в качестве внутреннего эталона в каждой анализируемой метафазе (С). Данные выражались в процентах от отношения Т/С %. Анализ показал, что длина теломер в одной клетке очень неоднородна и располагалась в ряду от 2,25 до 82,84.

На каждого донора было проанализировано 20-30 метафаз хорошего качества. Было выявлено, что все измерения длин теломер не являются нормальными случайными величинами, поэтому для сравнения выборок между собой использовался непараметрический критерий Манна-Уитни.

Были сделаны следующие предварительные выводы:

1. Длина теломер в самой длинной #1 и самой короткой #20 метацентрических хромосомах достоверно различается.
2. Длины теломер в метацентрических хромосомах между группами облученных и необлученных людей статистически достоверно различаются. В то же время при попарном сравнении подходящих друг другу по возрасту людей отличий может и не быть.
3. Длины теломер для р- и q- плечей субметацентрических хромосом у облученных и необлученных людей статистически достоверно отличается ($p < 0.05$).
4. Попарное сравнение р- и q- плеч между облученными и необлученными людьми выявил достоверное статистическое различие в акроцентрических хромосомах.

ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИЯХ «УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ»

Е.Г. Метляев, Н.К. Шандала, А.М. Лягинская, А.В. Титов

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный
медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
metlyaev@mail.ru

Особенностью проживания населения на территориях «уранового наследия» является риск облучения в малых дозах за счет радона и продуктов его распада, составляющего до 90% суммарной годовой дозы облучения. ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ведет мониторинг состояния здоровья населения в г. Лермонтов Ставропольского края, который основан в качестве рабочего поселка горно-химического рудного управления.

Целью настоящей работы является оценка состояния здоровья населения, проживающего на следе «уранового наследия» в радоновом воздушном бассейне.

Материалы и методы. Материалом исследования явились данные медицинской статистики, представленные в формах №7 – сведения о злокачественных заболеваниях, №12 – сведения о числе заболеваний, №19 – сведения о детской инвалидности, №32 – сведения о состоянии беременных и новорожденных. Сведения о общей численности населения, о рождаемости и смертности использованы из демографической справки. Оценивалась частота и структура заболеваемости, а также динамика изменений отдельных показателей здоровья за период наблюдения с 2009-2018гг. Статистическая обработка данных проводилась с помощью стандартных методов, аттестованных для анализа медико-биологических данных.

Результаты. Анализ первичной заболеваемости взрослого населения выявил тенденцию роста в период с 2009 по 2018 гг. Уровень заболеваемости находился в пределах 554,1-723,8 на 1000 и в 2018 г. среднее значение заболеваемости населения г. Лермонтов превысило среднюю заболеваемость по Ставропольскому краю в целом: 815,1 и 392,1 на 1000 соответственно. Заболеваемость органов дыхания в общей структуре заболеваемости составило относительно небольшую долю – 16,6% и не выявило особенностей. Заболеваемость злокачественными новообразованиями составила 0,10 на 1000, что соответствует средней заболеваемости по России в целом. Заболеваемость детей 0-14 лет выше заболеваемости детей в целом по Ставропольскому краю: 2310,9 и 1347,3 на 1000 соответственно и имеет тенденцию снижения. Заболеваемость органов дыхания в общей структуре детской заболеваемости составила 60,7%, что соответствует популяционной оценке по РФ. Онкологическая заболеваемость детей несколько ниже заболеваемости детей по РФ в целом: 0,10 и 0,13 на 1000 соответственно. Детская инвалидность и детская хроническая заболеваемость соответствуют средним показателям по РФ.

Состояние беременных характеризуется относительно высокой частотой осложнений и заболеваний – 87,2% и тенденцией их роста, и относительно высокой частотой неблагоприятных исходов беременности – 55,0 на 1000.

Выводы. Анализ данных медицинской статистики выявил высокую заболеваемость взрослого и детского населения г. Лермонтов, нетипичную для детской популяции. Продолжение исследований позволит провести детальный анализ заболеваний и их связи с факторами среды обитания. Данные последующего мониторинга состояния здоровья населения г. Лермонтов послужат основой для разработки программы медицинских осмотров.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ДВУХ БОЛЬНЫХ ОСТРЫМ ЛЕЙКОЗОМ, ПЕРЕНЕСШИХ ОСТРУЮ ЛУЧЕВУЮ БОЛЕЗНЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

Н.А. Метляева, А.Ю.Бушманов, И.А.Галстян, М.В. Кончаловский, А.А. Давтян
ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России
nmetlyaeva@fmbcfmba.ru

Цель. Целью работы является оценка психофизиологической адаптации двух больных острым лейкозом, перенесших ОЛБ тяжелой и ОЛБ средней степени тяжести, пострадавших в аварии ЧАЭС.

Материал и методы. Обследовано двое больных, бывшие работники аварийной смены ЧАЭС. Один из них выполнял обязанности инженера (Ю.А.П., 1961), второй – заместителя начальника турбинного цеха (Д.Р.И., 1950). Они 26.04.1986г. подверглись острому внешнему относительно равномерному гамма-бета облучению вследствие аварии ЧАЭС. Ю.А.П. получил острую лучевую болезнь III степени тяжести, множественные лучевые ожоги I –II степени (40%) и III-IV степени (15%) поверхности тела. Д.Р.И. - ОЛБ II степени тяжести и орофарингеальный синдром I степени. Доза облучения, составила 4,3 Гр (Ю.А.П.) и 3,4 Гр (Д.Р.И.). Ю.А.П. в январе 2007 года был диагностирован хронический миелолейкоз РН- позитивный в фазе акселерации. Несмотря на терапию, смерть наступила в ноябре 2008 года. Психофизиологическое обследование проведено дважды (1999, 2001 гг.), т.е. через 13 и 15 лет после аварии. Д.Р.И. в мае 2016 года был установлен диагноз: ОМЛ, трансформация из миелодиспластического синдрома (МДС). Несмотря на терапию, смерть наступила в марте 2017 года. Психофизиологическое обследование проведено дважды (2001, 2016 гг.), т.е. через 15 и 30 лет после аварии.

Результаты. Депрессивный профиль нарушения психической адаптации типа астенической депрессии у Ю.А.П. характеризовался более выраженными депрессивно - ипохондрическими тенденциями со значительным повышением на первой шкале, снижением на девятой, и относительно большей высотой второго подъема профиля методики ММИЛ у человека в хроническом стрессе, обусловленный тем, что он постоянно возвращается вокруг преимуществ соматических, а также психологических и социальных проблем с ограничением круга общения, с неясностью перспективы.

Демонстративный профиль личности у Д.Р.И. в виде конверсионной V как вариант дисгармоничного сочетания ипохондрических, тревожно-депрессивных и демонстративных тенденций с преобладанием демонстративности со значительным снижением на девятой - в виде нарастания депрессии в динамике. Преобладание демонстративности над нарастающей в динамике депрессией у человека с высоким интеллектом, с хорошим образно-логическим мышлением, с отсутствием сенсомоторной заторможенности, является проявлением оптимизма и стойкости перед тяжелым недугом.

Заключение. Психофизиологическая оценка личности и актуального психического состояния определила индивидуальные особенности личности у двух больных в виде астенической депрессии с депрессивно-ипохондрическими тенденциями у одного и демонстративный тип нарушения психофизиологической адаптации с выраженной ипохондрией и тенденцией к тревожно-депрессивному типу поведения с нарастающей в динамике депрессией у другого, перенесших ЛБ, местные лучевые поражения тяжелой и крайне тяжелой степени и острый лейкоз через 22 года и через 30 лет после аварии на ЧАЭС соответственно.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НЕОСТРИАТУМА ПРИ ОДНОКРАТНОМ И ФРАКЦИОНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДОЗЕ 0,5 ГР

Н.А. Насонова, Д.А. Соколов, А.Г. Кварацхелия, В.Н. Ильичева
ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, г. Воронеж, Россия
nata.nasonova.79@mail.ru

Проблема оценки морфофункционального состояния различных отделов ЦНС после воздействия различных режимов облучения имеет важное научно-практическое значение для регламентации и санитарно-гигиенического нормирования использования ионизирующего излучения в лечебных целях и в различных производственных отраслях. Изучение морфофункционального состояния элементов стриопаллидарной системы при действии ионизирующего излучения позволит установить степень выраженности нарушений в функциональных системах контроля двигательных функций.

Целью нашей работы явилась сравнительная оценка повреждающего эффекта однократного и фракционированного воздействия ионизирующего излучения в дозе 0,5 Гр, наблюдаемого в нейронах хвостатого ядра через 1 сут. после сеанса облучения.

Материалы и методы. Эксперимент спланирован и проведен в ГНИИИ военной медицины МО РФ (г. Москва). Исследования проводили на беспородных крысах-самцах массой тела 200–230 г в возрасте 1,5–2 месяцев (к началу эксперимента). 39 крыс облучали однократным воздействием ионизирующего излучения в дозе 0,5 Гр, фракционированное воздействие получили 34 животных в той же дозе. Животных выводили из эксперимента спустя 1 сут. после воздействия. Фрагменты мозга фиксировали в 10% растворе забуференного формалина и после стандартной гистологической проводки заливали в парафин. Фронтальные срезы толщиной 15 мкм окрашивали гематоксилином и эозином, а также толудиновым синим по Нисслю. На препаратах оценивали тинкториальные свойства и морфологические изменения нейроцитов хвостатого ядра. Проводили подсчет нейроцитов с различными формами морфологической изменчивости, которые выявляли в соответствии с классификацией, разработанной на кафедре анатомии человека ВГМУ им. Н. Н. Бурденко (Федоров В.П. с соавт., 2003). Статистический анализ включал вычисление средних величин, дисперсии, стандартного отклонения, ошибки среднего, коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Результаты. Через 1 сут. после однократного воздействия ионизирующего излучения в дозе 0,5 Гр в нейронах хвостатого ядра наблюдалось преобладание гиперхромных нейронов и увеличение числа нейроцитов с признаками гидропической дистрофии и коагуляционного некроза. В нейронах возникали умеренно выраженные альтеративные (деструктивные) изменения, проявляющиеся в виде коагуляционного и колликативного нейронекрозов, гипохромной гидропической нейронодистрофии. При фракционированном облучении в дозе 0,5 Гр через 1 сут. по сравнению с однократным лучевым воздействием в той же дозе количество нормохромных нейроцитов в хвостатом ядре оставалось выше на 8,4%, гипохромных – ниже на 6,32%, а содержание гиперхромных нейроцитов практически не отличалось от количества нейроцитов при однократном воздействии спустя одни сутки пострадиационного воздействия.

Выводы. Таким образом, фракционированное облучение в дозе 0,5 Гр спустя 1 сутки после воздействия вызывает в стриопаллидарной системе менее выраженные структурно-функциональные изменения, чем однократное ионизирующее воздействие.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В ДОЗЕ 0,2 ГР НА СПОСОБНОСТЬ К ОБУЧЕНИЮ ПОТОМСТВА ОБЛУЧЕННЫХ САМЦОВ КРЫС

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

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф.Цыба – филиал
«НМИЦ радиологии» Минздрава РФ, Обнинск, Россия

В радиобиологии вопросы последствий облучения гонад в нестерилизующих дозах для потомства относятся к одним из сложных и недостаточно изученных. В то же время, последствия облучения гонад относятся к наиболее опасным, в связи с возможностью повреждения генетических структур, ответственных за передачу наследственной информации в ряд последующих поколений.

Для определения радиоиндуцированных нарушений в сперматогониях, реализующихся в потомстве первого поколения, самцов крыс линии Вистар подвергали однократному общему гамма-облучению (установка «Луч», источник ^{60}Co) в дозе 0.2 Гр (мощность дозы 20 мГр/мин). Интактных половозрелых самок подсаживали к облученным самцам через 3 месяца, что соответствует сроку созревания сперматозоидов из стадии сперматогоний после радиационного воздействия. Полученное потомство тестировали в возрасте трех месяцев, отдельно самцов и самок. В качестве контрольной группы использовали необлученных половозрелых крыс линии Вистар, содержащихся в идентичных условиях с подопытной группой.

Материалы и методы. Анализ последствий лучевых нарушений, индуцированных радиацией, проводили по показателям психофизиологического развития потомства, которое оценивалось по способности к обучению с помощью теста выработки условного рефлекса активного избегания (УРАИ) в челночной камере Шаттл-бокс (Навакатилян, М. А. Методика изучения оборонительных условных рефлексов активного избегания // Журнал высшей нервной деятельности. 1992. Т.42. №4. С. 12-18). Для обеспечения выработки УРАИ в автоматическом режиме разработан комплекс из трех челночных камер с управляющим микропроцессорным устройством, позволяющим произвольно задавать программу обучения и регистрировать латентное время перебежки с точностью до 0.1 с. В специальных экспериментах установлено, что для достижения высокого уровня обученности у большинства крыс необходимо проведение 2 сеансов из 50 циклов сочетаний раздражителей при следующей оптимальной последовательности сигналов: свет+звук (условный сигнал) – 4 с; болевое электрическое раздражение (безусловный сигнал) - с 4 по 12 с; пауза между циклами - 20 с. При анализе выработки и воспроизведения УРАИ использовали ряд показателей, отражающих конечную результативность либо характеризующих скорость обучения.

Результаты. По полученным данным удалось установить, что у потомства первого поколения облученных в дозе 0.2 Гр самцов крыс практически не нарушены выработка и закрепление условных рефлексов. Этот эффект был выражен только в подгруппе самок. У них была незначительно нарушена способность к обучению – снижено общее число условных рефлексов, снижено число крыс с сериями условных рефлексов, что свидетельствовало о нарушениях запоминания «урока» в процессе обучения и нестойкости выработанного рефлекса избегания. Скорость обучения самок также была незначительно снижена, по сравнению с контрольными животными. Но эти отклонения были все же на уровне некоторой тенденции. У самцов же все показатели были на уровне контрольных животных.

Вывод. В результате исследования были получены научные данные, которые можно трактовать в пользу нашего предположения о том, что доза внешнего гамма-облучения 0.2 Гр не оказывает значительного влияния на психофизиологический статус потомства облученных самцов крыс и их способность к обучению.

СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОТЫ КИШЕЧНИКА У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Г.Г. Родионов, И.И. Шантырь, И.Э. Ушал, Е.А. Колобова, Е.В. Светкина

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
rodgengeor@yandex.ru

Результаты эпидемиологического анализа состояния здоровья граждан, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в отдаленном периоде, свидетельствуют о том, что болезни органов пищеварения (XI класс по МКБ-10) в структуре заболеваемости составляют 11 %, онкологические заболевания желудочно-кишечного тракта – 38 % от всех новообразований (II класс по МКБ-10). Отдаленная радиационная патология пищеварительного тракта может развиваться в результате воздействия внешних источников радиации и инкорпорации радионуклеидов, для которых желудочно-кишечный тракт является одним из важнейших путей поступления и экскреции из организма.

В рамках оказания специализированной медицинской помощи в амбулаторно-поликлинических условиях у 129 ликвидаторов последствия аварии на ЧАЭС (ЛПА) проведен забор 129 проб крови (оценка пристеночной микробиоты тонкого кишечника) и фекалий (оценка просветной микробиоты толстого кишечника). Содержание микробных маркеров в указанных пробах осуществляли методом ГХ-МС с помощью газового хроматографа «Agilent 7890» с масс-селективным детектором «Agilent 5975С» («Agilent Technologies», США).

Общее количество микробных маркеров в крови у обследуемых ЛПА находилось в пределах нормы у 30,2 %, выше нормы у 60,5 %, и ниже нормы – у 9,3 %. Общее количество микробных маркеров в фекалиях у обследуемых ЛПА находилось в пределах нормы у 33 % и ниже нормы – у 67 %. У ЛПА на ЧАЭС в крови с повышенным общим количеством микробных маркеров выявлялось двукратное увеличение количества маркеров нормобиоты *Propionibacterium/Cl. Subterminale* на фоне снижения *Lactobacillus* на 14 %. В тоже время в фекалиях с пониженным общим количеством микробных маркеров обнаруживалось увеличение маркеров нормобиоты *Eubacterium/Cl. Coccoides* на 71 % и снижение маркеров *Lactobacillus* на 24 %.

В крови выявлялось увеличение количества микробных маркеров условно-патогенной флоры *Nocardia*, 14:1d11 в 7,4 раза, *Streptococcus* *gr A* в 5 раз, *Clostridium hystolyticum* и *Propionibacterium jensenii* в 4 раза, *Clostridium ramosum* и *Streptomyces* в 1,7 раза. При этом выявлялось и снижение количества микробных маркеров *Actinomyces viscosus* в 1,8 раза, микр грибы (камнестерол) в 7 раз, микр грибы (цитостерол) в 5 раз, остальных маркеров условно-патогенной флоры в 2,3 раза. В фекалиях обнаруживалось увеличение количества микробных маркеров условно-патогенной микробиоты (*Streptococcus* *gr A*, *Staphylococcus intermedius*, *Streptococcus mutans*) в 3-6 раз, *Streptomyces* в 6 раз, остальных маркеров условно-патогенной флоры в 1,5 раза. Отмечалось выраженное увеличение микробных маркеров *Nocardia*, 14:1d11 в 80 раз *Clostridium ramosum* в 20 раз, *Bacillus megaterium* в 35 раз. Было обнаружено и снижение количества микробных маркеров *Clostridium perfringens* в 5 раз и *Eubacterium* (метаболизм) в 1,2 раза.

Полученные индивидуальные профили микробиома ЛПА на ЧАЭС послужили основой для целенаправленной коррекции выявленных нарушений, основными принципами которой являются: диета, деконтаминация условно патогенной микрофлоры, восстановление зубиоза, лечение патологии, приведшей к дисбиозу.

ЧАСТОТА ГЕМОПОЭТИЧЕСКИХ СТВОЛОВЫХ И ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК-ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ, ЦИРКУЛИРУЮЩИХ В КРОВИ ПРОФЕССИОНАЛОВ-АТОМЩИКОВ

Е.И. Селиванова, И.А. Замулаева

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал «НМИЦ
радиологии» Минздрава России, Обнинск, Россия
selivanova_l@mail.ru

Оценка риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) занимает важное место в изучении медицинских последствий действия ионизирующих излучений на организм человека. В настоящее время наряду с традиционными биохимическими маркерами, разрабатываются клеточные биомаркеры риска развития и течения ССЗ. Показано важное значение гемопоэтических стволовых клеток (ГСК), мигрирующих из костного мозга в кровь и способных дифференцироваться в стволовые клетки эндотелия сосудов, опосредуя процессы неоангиогенеза в «проблемных» зонах сердечно-сосудистой системы. В эндогенном восстановлении и поддержании целостности эндотелия также принимают участие эндотелиальные клетки-предшественники (ЭКП), представляющие одно из направлений дифференцировки ГСК. Однако влияние ионизирующего излучения на количество циркулирующих ГСК и ЭКП, практически не изучено, как и прогностическое значение этих показателей у облученных лиц.

Целью работы является изучение количественных изменений ГСК и ЭКП после хронического действия ионизирующего излучения при выполнении профессиональных обязанностей в атомной промышленности.

Материалы и методы. Исследовали образцы периферической крови 102 сотрудников ГНЦ Физико-энергетический институт (ГНЦ ФЭИ) со средней суммарной накопленной дозой $54,2 \pm 4,7$ мЗв и 112 контрольных лиц сходного пола, возраста и места жительства, не подвергавшихся радиационному воздействию вследствие выполнения профессиональных обязанностей. $CD34^{high}CD45^{low}$ ГСК и $CD34^{+}CD146^{+}$ ЭКП идентифицировали с помощью проточной цитофлуориметрии и определяли их частоту среди мононуклеарных клеток периферической крови.

Результаты. Выявлены различия в динамике изменения частоты циркулирующих ГСК с возрастом контрольных и облученных лиц. В первой группе этот показатель увеличивался с возрастом, достигая максимума в 50-55 лет, что свидетельствует о возрастных нарушениях эндотелия и их адекватной репарации до определенного возраста, после которого происходит изменение структуры популяции за счет гибели от ССЗ. В то же время, в группе облученных лиц частота ГСК была максимальна в самой младшей возрастной группе (до 30 лет), а затем снижалась. В итоге, в возрастных группах до 40 лет этот показатель составлял в среднем $(10,2 \text{ vs } 7,8) \times 10^{-4}$ у облученных и контрольных лиц ($p=0,045$), а в группах старше 40 лет - $(9,1 \text{ vs } 11,3) \times 10^{-4}$ ($p=0,043$), соответственно. Поскольку зависимости частоты ГСК от дозы радиационного воздействия не обнаружено ни среди молодых лиц, ни в общей группе обследованных, причинно-следственная связь обнаруженных изменений с радиационным фактором не доказана. Показана тенденция к повышению частоты ЭКП с возрастом и контрольных, и облученных лиц, однако этот показатель при радиационном воздействии не отличался статистически значимо от возрастного контроля.

Выводы. Возрастная динамика частоты ГСК (но не ЭКП) у сотрудников атомной промышленности отличается от таковой в контроле. Обнаруженные изменения не коррелируют с суммарной накопленной дозой облучения.

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ У СТАРЫХ МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ В ДОЗЕ 2 ГР

Сидакова Я.В.¹, Абросимова А.Н.¹, Гаевский В.Н.³, Иванов А.А.^{1,2,3}

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Институт
медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

³Государственный научный центр Российской Федерации «Федеральный медицинский
биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия
sida-yana@yandex.ru

В литературе встречается много данных о повреждающем эффекте радиации в нелетальных дозах. Как правило, радиационные исследования проводятся на молодых экспериментальных животных – грызунах в возрасте до 12 недель. Существенно меньше работ выполнено на старых животных.

Целью данного поискового исследования была оценка реакции организма старых мышей на γ -облучение в дозе 2 Гр на фоне потребления питьевой воды разного качества.

Материалы и методы. Исследование проводились на 30 самках инбредных мышей C57Bl6 в возрасте 60-ти недель с массой тела 26-35 г. До начала эксперимента животные содержались в конвенциональных условиях. Получали гранулированный корм и бутилированную воду в свободном доступе. Подопытные 3 группы формировались случайным выбором из равноценных по массе животных. Первая и вторая группы с момента начала эксперимента потребляли дистиллированную воду (ДВ), третья группа получала водопроводную воду (ВВ). На 63 неделе экспериментальные животные группы 1 (ДВ) и 3(ВВ) были подвергнуты тотальному γ -облучению на установке Рокус-М МТК ОИЯИ в дозе 2 Гр с мощностью дозы 1 Гр/ мин. Контрольная группа 2(ДВ) не подвергалась облучению. За животными ежедневно наблюдали в течение 19 недель после облучения (эксперимент продолжается). Массу тела животных, биомассу группы определяли на весах Zelmer с ценой деления 1,0 г. Для статистической обработки: подсчета средней арифметической использовали программный комплекс Microsoft Office Excel 2007, статистическую значимость рассчитывали по U-критерию Манна-Уитни ($p \leq 0.01$).

Результаты. Исходно старые мыши были малоподвижны, у них просматривалось частичное облысение. За период наблюдения 19 недель после облучения гамма-квантами в дозе 2 Гр в группе 1 (ДВ, облученные) пало одно животное, в группах 2 (ДВ, необлученные) и 3 (ВВ, облученные) пало по три мыши. В течение всего срока наблюдения биомасса животных в группе 1 сохранялась практически на исходном уровне, а показатель средней массы даже повысился. Так же в этой группе у мышей наблюдалось восстановление волосяного покрова. В то время как в группах 2 и 3 отмечено прогрессивное снижение показателя биомассы группы животных и среднего значения массы тела. Волосяной покров в данных группах был восстановлен лишь частично.

Вывод. При облучении гамма-квантами старых мышей возрастом более 60 недель в нелетальной дозе 2 Гр и при потреблении дистиллированной воды наблюдается стабилизирующий эффект в течение 19 недель по показателям выживаемости, сохранения биомассы и повышения среднего значения массы тела.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ДНК ЛЕЙКОЦИТОВ КРОВИ И ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ РЯДА ГЕНОВ В КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ В РАЗНЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ УГЛЕРОДА

Н.П. Сирота¹, Е.А. Кузнецова¹, О. М. Розанова¹, В.А. Пикалов², Е.Н. Смирнова¹

¹ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Московская область, 142290 Россия

² Институт физики высоких энергий Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", Московская область, Протвино, 142281 Россия
sirota@iteb.ru

Ионизирующее излучение тяжелыми частицами с высокой энергией обсуждается в научной литературе как инструмент более эффективный, чем рентгеновское или гамма излучение для использования в радиотерапии опухолей. Одним из аспектов этих дискуссий является оценка побочных эффектов в нормальных тканях генерируемых таким облучением.

Целью данного исследования является изучение отдаленных последствий облучения ускоренными ионами углерода (450 МеВ/нуклон) у мышей, подвергнутых облучению в пике Брэга и «напролет».

Материалы и методы. Белые беспородные самцы мышей линии SHK подвергались облучению ионами углерода в дозах 0,1 – 2,0 Гр и дозе 6Гр. Облучение ионами углерода проводилось на ускорительном комплексе U-70. Дозиметрия и облучение мышей проводились в водном фантоме. Внутри контейнера воздушная камера (кессон) перемещалась с точностью позиционирования 0,1 мм. Мышей, в пластиковом боксе (70×25×70 мм), помещали у передней стенки кессона, боком перпендикулярно направлению луча. Облучение проводилось с использованием ионов ¹²C в двух областях кривой Брэга: до и в расширенном 30-миллиметровом пике. Методом Comet assay оценивали уровень повреждений ДНК в лейкоцитах периферической крови, забранной из хвоста животного. Изменения в уровне экспрессии генов *CDKN1A*, *APEX1*, *BBC3*, *TXN2* оценивали методом ПЦР в реальном времени в клетках костного мозга мышей облученных в дозах 0,1–2,0 Гр.

Результаты. Показано, что через 24 часа после облучения ионами углерода наблюдается дозо-зависимое нарастание повреждений ДНК в лейкоцитах периферической крови мышей, сопровождающееся уменьшением количества лейкоцитов и увеличением экспрессии генов *CDKN1A* и *BBC3* в клетках костного мозга. Изучение уровня повреждений ДНК в лейкоцитах периферической крови в отдаленные сроки после облучения животных в дозах 6 Гр до и в пике Брэга показало бифазный характер изменения количества повреждений ДНК с максимумами на 3 и 30 сутки пост облучения. К 75 суткам у животных облученных в пике Брэга уровень поврежденности ДНК достоверно ($p < 0.05$) превышает значение до облучения этих животных.

Выводы. Динамика изменения уровня повреждения ДНК в лейкоцитах мышей, облученных ¹²C, в течение 30 дней аналогична таковой у животных, подвергшихся сублетальным дозам рентгеновского излучения. Сохранение высокого уровня повреждения ДНК к 75 дню после облучения в пике Брэга указывает на значительное повреждение клеток из различных клеточных пулов системы крови. Высокий уровень повреждения ДНК может быть связан не только со сложными повреждениями ДНК, но и с хроническим окислительным стрессом.

ПЛУТОНИЙ И СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ У РАБОТНИКОВ ПО «МАЯК» ПРИ ОПУХОЛЕВЫХ И НЕОПУХОЛЕВЫХ ПРИЧИНАХ СМЕРТИ

В.И. Тельнов

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

tvi@subi.su

Оценка продолжительности жизни (ПЖ) по мнению ряда исследователей является наиболее важным показателем при радиационном воздействии. 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 наблюдения. До последнего времени исследований о влиянии плутония-239 на ПЖ у людей не проводилось. Зависимость смертности работников ПО «Маяк» от инкорпорации плутония-239 хорошо изучена в плане оценок канцерогенного риска, а в отношении ПЖ – явно недостаточно.

Цель исследования – оценка зависимости статичных и потенциальных показателей продолжительности жизни от уровня инкорпорации плутония-239 у работников ПО «Маяк» при опухолевых и неопухолевых причинах смерти.

Материалы и методы. Материалом для исследования явилась когорта работников 1948-1958 годов найма (1739 мужчин и 605 женщин) с инкорпорацией плутония-239 в организме. С помощью регрессионного анализа (программа STATISTICA 10) в зависимости от уровня инкорпорации плутония-239 оценивали общую ПЖ (от рождения до смерти), ПЖ после начала работы как разницу между ПЖ и возрастом найма на работу (ПЖпнр), долю (в %) мужчин, не доживших до 65 лет, долю мужчин, не проживших 40 лет после начала работы, долю женщин, не доживших до 70 лет и долю женщин, не проживших 45 лет после начала работы.

Результаты. В результате регрессионного анализа показано, что на 1 кБк инкорпорированного плутония-239 при опухолевых причинах смерти у мужчин общая ПЖ сокращалась на 0,32, ПЖпнр – на 0,36 года, а у женщин - на 0,13 и 0,16 года соответственно. На 1 кБк инкорпорированного плутония-239 у мужчин доля, не доживших до 65 лет, и доля, не проживших 40 лет после начала работы, повышались на 1,53 и 1,73% соответственно. У женщин доля, не доживших до 70 лет, и доля, не проживших 45 лет после начала работы, повышались на 0,66 и 0,83% соответственно. При неопухолевых причинах смерти на 1 кБк у мужчин общая ПЖ сокращалась на 0,31, ПЖпнр – на 0,41 года, а у женщин – на 0,24 и 0,26 года соответственно. У мужчин доля, не доживших до 65 лет, и доля, не проживших 40 лет после начала работы, повышались на 1,13 и 1,77% соответственно. У женщин доля, не доживших до 70 лет, и доля, не проживших 45 лет после начала работы, повышались на 0,89 и 0,93% соответственно. Из представленных данных следует, что наблюдаемые сдвиги показателей ПЖ были более выраженными, как у мужчин, так и у женщин после начала работы по сравнению с показателями общей ПЖ.

Выводы. В результате исследования установлена линейная регрессионная зависимость исследованных показателей ПЖ от инкорпорации плутония-239 при опухолевых и неопухолевых причинах смерти. При этом эффекты сокращения ПЖпнр и повышения доли мужчин и женщин, не проживших после начала работы 40 и 45 лет, были более выраженными, чем эффекты сокращения общей ПЖ и повышения 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.

МЕДИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ «ЧЕЛОВЕК» УРАЛЬСКОГО НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

С.В. Тряпицына, Н.В. Старцев, А.В. Аклеев

Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
Челябинск, Россия
svt174@list.ru

В 40 годах прошлого столетия на Южном Урале (Челябинская область, Россия) для производства оружейного плутония было создано ПО «Маяк». В 50-60-х гг. На ПО «Маяк» имели место радиационные инциденты: загрязнение р. Течи плановыми и аварийными сбросами жидких отходов; авария 1957 г. на хранилище радиоактивных отходов (образовался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС)), которые привели к радиоактивному загрязнению части территорий в Уральском регионе и облучению населения, проживающего на этих территориях. Крайне актуальной проблемой является предотвращение или снижение вредных отдаленных последствий для здоровья у людей при радиационном воздействии. С 1951 г. сотрудниками Уральского научно-практического центра радиационной медицины (УНПЦ РМ, ранее ФИБ-4 Института биофизики Минздрава СССР) были начаты медицинские обследования населения и дозиметрические измерения на местности. В результате накоплено большое количество информации, которая послужила основой для создания медико-дозиметрической базы данных «Человек» (МД БД) УНПЦ РМ.

Цель работы. Характеристика МД БД «Человек», предназначенной для информационного обеспечения дозиметрических, эпидемиологических, радиобиологических исследований в УНПЦ РМ.

Материалы и методы. Разработка методов сбора, хранения и анализа информации о жизненном статусе, демографических характеристиках и миграционных процессах облученного населения и их потомков.

Результаты исследований. В 1992 г. в УНПЦ РМ была создана медико-дозиметрическая база данных «Человек». МД БД содержит основные блоки информации о населении: идентификационную информацию; дозиметрическую информацию; информацию о местах и сроках проживания; семейно-родственную информацию и информацию о состоянии здоровья (диагнозы, дата их постановки, а также дата и причина смерти для умерших лиц). МД БД содержит персональную информацию более чем на 170 тыс. граждан, распределенных на четыре основные группы населения: «Облученные лица», «Потомки облученных лиц», «Ликвидаторы и проживающие» и «Родственники облученных лиц и потомков». На основании первых двух групп населения сформированы когорты: Когорта р.Теча; Когорта ВУРС; Когорта антенатально облученных лиц. В 2018 г. эпидемиологами УНПЦ РМ создана Уральская когорта аварийно-облученного населения (УКАОН), объединяющая население двух ранее созданных когорт, облученных на р.Тече и территории ВУРСа. БД МД используется для анализа эффектов облучения на людей и их потомков - оценки органо-специфической заболеваемости, влияния нерадиационных факторов на здоровье, раковой и нераковой смертности, эффектов в разные возрастные и временные периоды и др.

Выводы. Создана методика долгосрочного наблюдения и отслеживания жизненного статуса и причин смерти облученных лиц и их потомков, которая позволяет ежегодно актуализировать информацию в МД БД. Это позволяет предоставлять более качественную информацию для проведения дозиметрических, эпидемиологических и радиобиологических исследований в УНПЦ РМ.

АЛКОГОЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЯХ МОЗГА

В.П. Федоров¹, И.Б. Ушаков^{1,2}, А.Н. Асташова³

¹Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

²Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

³Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина", Воронеж, Россия
fedor.vp@mail.ru

Радиационные аварии в конце XX века (Красное Сормово, 1970; бухта Чажма, 1985; Чернобыльская АЭС, 1986 и др.) показали, что кроме радиационного на здоровье ликвидаторов их последствий влияют и другие факторы среди которых не последнее место занимает алкоголь. Осведомленность о способностях алкоголя в плане "коррекции" психоэмоционального статуса, а также широкая доступность препарата позволяет предполагать, что частота его применения в чрезвычайных в том числе и радиационных ситуациях будет только возрастать.

Цель данного исследования - анализ влияния различных доз алкоголя на радиационно-индуцированные эффекты в головном мозге.

Материалы и методы. Эксперимент с соблюдением правил биоэтики выполнен на 120 белых крысах-самцах линии Вистар массой 250—270 г, которых облучали в кранио-каудальном направлении гамма квантами от источника ⁶⁰Со в дозе 87,5 Гр при мощности дозы облучения 6,7 сГр/с. За 2 и 15 мин до или после облучения крысам внутрибрюшинно вводили 15 % раствор этанола в пороговой 0,28 и транквилизирующей дозе 2,25 г на 1 кг массы тела. Объектом исследования служили участки головного мозга ответственные за поведение, память и работоспособность. Материал забирали в момент развития РПН и обрабатывали нейростологическими, гистохимическими и электронно-микроскопическими методиками. Каждой группе соответствовал контроль.

Результаты. Установлено, что в основе изолированного действия изучаемых факторов лежит гипоксия как типовой нейрпатологический процесс. Эффекты комбинированного действия зависели от последовательности их воздействия, дозы и времени введения этанола. Так применение этанола до гамма-облучения существенно не модифицировало радиационные нейроморфологические изменения, но вызывало появление синапсов, дегенерирующих по филаментарному типу. Этанол в дозе 0,28 г/кг после облучения не оказывал влияния на радиационные изменения нейронов и их синапсов. При больших дозах алкоголя наблюдалось усиление эффектов радиации: при сохранении числа измененных синапсов в них отмечаются более выраженные изменения. При анализе суммарной частоты функциональных и деструктивных изменений оказывается, что этот показатель достоверно больше, чем в группе с одним облучением (по методу ф). Таким образом, в действии этанола и гамма облучения на структурно-функциональное состояние нейронов головного мозга наблюдается определенное сходство, а при комбинированном последовательном действии этих факторов отмечается как синергизм, так и по некоторым показателям антагонизм.

Выводы. Этанол усиливает выраженность неврологической симптоматики при радиационном поражении головного мозга и вызывает большие изменения синапсов. В связи с этим этанол не может служить ни профилактическим ни лечебным противорадиационным средством особенно для операторов, находящимся на дежурстве из-за возможности развития девиантного поведения.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЖИРОРАСТВОРИМЫХ ВИТАМИНОВ В КРОВИ МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС

*И.И. Шантырь, Г.Г. Родионов, С.В. Дударенко, Е. В. Белогурова, И.Э. Ушал,
Е.А. Колобова, Е.В. Светкина*

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
rodgeorgeor@yandex.ru

Сегодня за счет эндоэкологических проблем человека (загрязнение организма тяжелыми металлами, радионуклидами, курение, несбалансированное питание, электромагнитные поля, вибрация, шум, радиация, чрезмерные физико-эмоциональные нагрузки и др.) нарушается работа антиоксидантной системы и активируются свободнорадикальные перекисные процессы, растет реактивность свободных радикалов, которые, обладая высокой биологической активностью, способны повреждать клетки и ткани. Поддерживать организм в здоровом состоянии - значит сохранять необходимый баланс между свободными радикалами и антиокислительными силами, роль которых выполняют антиоксиданты.

Жирорастворимые антиоксиданты (альфа-токоферол и каротиноиды) играют главную роль в защите основных структурных компонентов биомембран, таких, как фосфолипиды и погруженные в липидный слой белки. Дефицит витамина D – это новая метаболическая пандемия XXI века. Витамин D регулирует крайне важные гены, отвечающие за синтез половых гормонов и регуляцию углеводного обмена, нарушение функции которых закономерно сопровождается низкой продолжительностью и качеством жизни. При этом он оказывает мощное модулирующее влияние на иммунную систему, а дефицит витамина D может вызывать системный воспалительный ответ, который является одним из основных кардиометаболических факторов риска, в том числе онкологических заболеваний. Формы витамина К, входящие в состав сфингомиелина (филлохинон и менахиноном) осуществляют защиту клеток, особенно нервных клеток - от окислительного повреждения.

В рамках оказания специализированной медицинской помощи у 25 ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с диагнозом «сахарный диабет» проведен забор проб крови с целью комплексной оценки уровня жирорастворимых витаминов методом ВЭЖХ-МС/МС на высокоэффективном жидкостном хроматографе «Agilent 1200» масс-спектрометром с тройным квадруполем «Agilent 6460» («Agilent Technologies», США).

Установлено, что в крови у данных пациентов уровень жирорастворимых витаминов был на нижней границе нормы почти у половины обследуемых. Так витамин Е был на нижней границе референтных величин (5-18 мкг/мл) у 10 пациентов (40 %), витамин А (норма 0,3-1,0 мкг/мл) у 9 пациентов (36 %), витамин Д3 (норма 30-60 нг/мл) у 13 пациентов (52 %) и витамин К1 (норма 0,1-2,2 нг/мл) у 9 пациентов (36 %).

Полученные данные о снижении уровня жирорастворимых витаминов в крови у 36-52 % обследуемых ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с диагнозом «сахарный диабет» указывают на уменьшение резервных возможностей антиоксидантной системы их организма и, следовательно, требуют коррекции проводимой терапии соответствующими лекарственными препаратами.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ (ОМЕГА-3 И ОМЕГА-6) В КРОВИ МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС

*И.И. Шантырь, Г.Г. Родионов, С.В. Дударенко, Е. В. Белогурова, И.Э. Ушал,
Е.А. Колобова, Е.В. Светкина*

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
innaushal@mail.ru

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) являются наиболее важными питательными веществами человеческого рациона и имеют особое значение для структур клеточной оболочки (формируют клеточную мембрану), ее функционирования и для местной «гормональной» передачи сигналов. ПНЖК являются особо важными компонентами оболочек нервных клеток и рецепторов, так как обеспечивают правильную внутриклеточную передачу сигналов в центральной нервной системе. Незаменимые жирные кислоты, полученные только из пищи, преобразуются в местные гормональные медиаторы, которые принимают участие в регуляции работы сердечно-сосудистой системы, процессе свертывания крови, всех стадий воспаления и др.

Омега-3 и Омега-6 конкурируют за одни и те же ферменты, таким образом, соотношение этих жирных кислот оказывает влияние на соотношение эйкозаноидов (их метаболические последователи - гормоны, медиаторы и цитокины) таких как простагландины, лейкотриены, тромбоксаны, а это значит, что будет оказано существенное влияние на весь организм. Из этого следует, что для сохранения баланса биологически активных веществ, Омега-3 и Омега-6 должны потребляться в определенных пропорциях. Рекомендованные соотношения колеблются в пределах от 1 : 1 до 4 : 1 (Омега-6 : Омега-3).

В связи с вышеизложенным, в рамках оказания специализированной медицинской помощи у 25 ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с диагнозом «сахарный диабет» проведен забор проб крови с целью комплексной оценки уровня ненасыщенных жирных кислот методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией на газовом хроматографе «Agilent 7890» («Agilent Technologies», США).

Выявлено уменьшение содержания в крови α -линоленовой кислоты у 28 % обследуемых пациентов ниже референтных значений (3,34 - 52 мкг/мл) при средних ее значениях $4,4 \pm 2,2$ мкг/мл и докозагексаеновой кислоты у 68 % пациентов (норма 16 - 37 мкг/мл) при средних ее значениях $14,0 \pm 10,8$ мкг/мл. Что касается Омега-6, то уровень линолевой кислоты в крови был ниже нормы (441 - 777 мкг/мл) при средних ее значениях $141,6 \pm 49,3$ мкг/мл у всех обследуемых с диагнозом «сахарный диабет», а арахидоновой кислоты - у 76 % обследуемых (норма 85 - 161 мкг/мл) при средних ее значениях $69,2 \pm 32,9$ мкг/мл. Соотношение Омега-6 к Омега-3 в крови у пациентов с диагнозом «сахарный диабет» было 9 : 1.

Таким образом, обнаруженный дефицит Омега-3 в крови у большинства обследованных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с диагнозом «сахарный диабет» и повышенный коэффициент соотношения Омега-6 к Омега-3 жирных кислот, свидетельствует о необходимости учитывать полученные данные при назначении соответствующей корригирующей терапии у данной категории пациентов.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТИНА ОБЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА МОНОГАСТРИЧНЫХ ЖИВОТНЫХ ГОРЯЧИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

С.Г. Шаповалов¹, Г.В. Козьмин¹, В.А. Бударков²

¹ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

²Федеральный исследовательский научный центр вирусологии и микробиологии,
Вольгинский, Россия
shapovalovstanislav93@gmail.com

К настоящему времени по вопросам защиты человека и животных от ионизирующих излучений накоплен богатый материал, однако радиобиологические закономерности поражения желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) «горячими» радиоактивными частицами (РЧ) в доступных отечественных и зарубежных работах освещены недостаточно полно.

Цель работы состояла в оценке поглощённых доз β -излучения, вызывающих язвенно-некротическое поражение ЖКТ «горячими» радиоактивными частицами.

Материалы и методы. Исходными данными явились экспериментальные материалы исследований поражающего действия РЧ на слизистую оболочку ЖКТ крыс породы Вистар, беспородных свинок (Бударков, Зенкин, 1985), свиней русской белой породы (Анненков, Чепиков, Бударков, 1980) и результаты радиометрических анализов и дозиметрических измерений, характеризующих транспорт РЧ в ЖКТ животных и процессы формирования поглощённых доз (Сарапульцев, Козьмин, 1980, 1985).

Результаты. Выполнен компартментальный анализ динамики содержания РЧ с размерами 80-160 мкм в отделах ЖКТ после однократного перорального поступления. Значения среднего времени пребывания РЧ в ЖКТ составили 8.4 ч для крыс, 12 ч для морских свинок и ~25 ч для поросят возрастом 2.0-2.5 месяца. Наиболее длительная задержка РЧ наблюдалась в толстом отделе кишечника у крыс, в кишечнике у морских свинок и в желудке у поросят. Наблюдалось значительное концентрирование РЧ в кардиальной и особенно в пилорической части желудка животных, где впоследствии проявлялось наиболее интенсивное язвенное поражение слизистой оболочки. Величина неравномерности распределения мощностей поглощённых доз ($P_{\max}/P_{\min}$) в желудке поросят достигла 20. При этом, основная площадь слизистой оболочки желудка облучалась дозами близкими к среднему значению (~70%) и ~13% стенки желудка - максимальными дозами, где наблюдались очаги язвенного поражения. Показано удовлетворительное согласие средних величин экспериментально полученных дозиметрических данных с результатами расчётов на основе использования компартментальных моделей ЖКТ. Проведена оценка нижней границы средних поглощённых доз, вызывающих язвенные поражения ЖКТ, которые составили для желудка – 12 Гр, тонкого кишечника – 9 Гр и толстого кишечника – 23 Гр у крыс и дозам, сформированным в желудке – 15 Гр и кишечнике – 10 Гр, у морских свинок. Полулетальные дозы ЛД_{50/30} β -облучения ЖКТ радиоактивными частицами желудка и кишечника морских свинок составили ~40 Гр и ~25 Гр соответственно. Поросята показали более высокую радиочувствительность. Средние поглощённые дозы облучения ЖКТ в диапазоне от 5 до 10 Гр вызывали у животных летальные исходы. Разработан алгоритм расчёта поглощённых доз на слизистую оболочку ЖКТ животных и человека при пероральном поступлении РЧ произвольного генезиса.

Выводы. Впервые представлена дозиметрическая картина язвенно-некротического поражения ЖКТ, обусловленного перорально поступившими «горячими» РЧ. Полученные результаты могут быть приняты во внимание в задачах радиационной безопасности человека.

КВАЗИМЕХАНИЗМЕННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО РИСКА С УЧЕТОМ РЕПАРАЦИИ ДНК ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ

И. Л. Шафранский, А. Р. Туков

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Россия
iljush@mail.ru

Двухцепочечные разрывы ДНК (DSB) являются наиболее опасными поражениями ДНК, вызванными ионизирующим излучением, промышленными химикатами и широким спектром лекарственных препаратов, используемых в химиотерапии. Восстановление целостности генома имеет решающее значение, так как известно, что неспособность правильно выполнить восстановление DSB ускоряет онкогенез и связана с несколькими генетическими синдромами человека. В контексте моделирования системы реагирования на повреждение ДНК неопределенность может возникать несколькими способами, такими как количество индуцированных DSB, кинетические скорости и погрешность измерения в наблюдаемых количествах. Следовательно, использование стохастических подходов является обязательным условием для более глубокого понимания формирования радиационного риска.

Целью данного исследования является создание механизменной модели оценки радиационного риска с последующей её подгонкой на базе данных Отраслевого регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Материалы и методы. Известно, что такие условия как доза, тип клетки, типы дефектов ДНК определяют кинетику и точность репарации и являются ключевыми для параметризации биологического блока модели.

Эти результаты использованы в качестве входных признаков для реализации вышеупомянутой модели оценки риска.

Оценки риска могут быть проведены с частичным использованием метода наименьших квадратов Левенберга – Марквардта (Python).

Результаты. Разрабатывается принципиально новая модель оценки радиационного риска с учетом данных о механизме репарации двойных разрывов ДНК в рамках так называемой негомологичной рекомбинации (быстрая репарация). Подгонка модели осуществляется на базе использования данных эпидемиологического наблюдения.

Выводы. Промежуточные результаты свидетельствуют, что модели, учитывающие всю специфику радиационного повреждения и восстановления генома, являются одной из приоритетных тем научных исследований.

СЕКЦИЯ № 4

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ДОЗЫ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ – НАБЛЮДАЕМОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛА И ПОПЫТКИ ЕГО РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЯСНЕНИЯ

А.А. Вайнсон, Е.В. Соловьева

НИИ клинической и экспериментальной радиологии
НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина МЗ, Москва, Россия
wainson@ronc.ru

Облучение зоны опухолевого очага через решетчатую диафрагму с целью снижения степени поражения нормальных тканей при сохранении той же степени поражения неопластической ткани, что и при обычном пространственном распределении дозы, применяется в течение многих десятилетий. В Онкоцентре большой опыт пространственного фракционирования дозы был накоплен проф. Б.М. Алиевым в 60–70-годы, метод применяли и в других радиологических центрах страны. Для ясности укажем, что термин фракционирование в литературе по рассматриваемому вопросу используется в двояком смысле – как для обозначения неравномерности пространственного распределения дозы («горы и долины») в одном сеансе лучевой терапии, так и для традиционного подведения дозы в виде отдельных сеансов.

К настоящему времени имеются клинические данные о лечении опухолей разных локализаций в нескольких вариантах облучения через решетки – со сдвигом решётки между фракциями, без сдвига решётки между фракциями, когда ещё более увеличивается пространственное различие в суммарной дозе, а в последние годы появились данные об одномоментном облучении опухолей через решетки (или их аналоги) в очень больших дозах, до 15 Гр. С позиций радиобиологии интерес представляло бы изучение количественных различий в воздействии пространственной неравномерности подведения дозы для нормальной и опухолевой ткани, обеспечивающее расширение «терапевтического интервала», но из клинических данных об этом трудно составить представление. При терапии с использованием ускорителей неравномерность подводимой дозы почти всегда гораздо более выражена на поверхностных нормальных тканях (ясно, что это облегчает их восстановление за счёт пролиферации клеток в зоне меньшего воздействия), чем в зоне опухолевого очага, а во многих клинических работах пространственное фракционирование дополняется обычным курсом лучевой/химиотерапии.

Сейчас всё более широкое использование протонов и других видов излучения, позволяющих проводить облучение сканируемыми пучками диаметром в миллиметры и даже микрометры с положительным, по мнению врачей, результатом, повышает значимость изучения радиобиологии воздействия неравномерного пространственного облучения на объектах от клеток в культуре до спонтанных опухолей (например, у домашних животных). Проведенный анализ данных литературы (предмет настоящего сообщения) позволил дать только приблизительную оценку повышения эффективности неравномерного облучения в сопоставлении с равномерным. Изучаемая роль «коммунального эффекта», цитокинов, иммунного воздействия и др. радиобиологических явлений позволила получить много интересных подтверждений воздействия облученных тканей на необлученные и т.п., но пока эти сведения остаются только фрагментами будущей картины и не дают возможности выявить реальные механизмы. Одновременно будут обсуждены и другие вызывающие интерес наблюдения, например, уменьшение поражения нормальных тканей при сверхвысокой мощности дозы протонного облучения.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КЛЕТОК ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ПЛОТНОИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СУЛЬФАТА МЕДИ

О.А. Воробей, М.Д. Пронкевич, С.В. Белкина

МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск
olga.vorobey.94@mail.ru

Результативность лучевой терапии можно повысить путем ингибирования восстановления клеток после воздействия излучениями. Для этого применяются химические сенситизаторы. В лучевой терапии применяют плотноионизирующие излучения из-за возможности снижения восстановления клеток после действия излучений с высокими линейными потерями энергии (ЛПЭ).

Целью данного исследования являлось выявление механизмы радиосенсибилизации химическим препаратом после действия плотноионизирующих излучений.

Материалы и методы. Использована простейшая модель эукариотов – диплоидные дрожжевые клетки, сходных по своему строению во многих чертах с клетками высших организмов. В качестве источников ионизирующего излучения альфа-частицы ^{239}Pu (ЛПЭ = 120 кэВ/мкм, 25 Гр/мин). При таком значении ЛПЭ зафиксирован максимум в зависимости ОБЭ от ЛПЭ. Испытан препарат – сульфат меди – химический радиосенсибилизатор, используемый в клинической практике. Основным тестом была выживаемость, т.е. способность клеток образовывать на твердой питательной среде видимые невооруженным глазом колонии. Подвергнутые воздействию клетки выдерживали в непитательной среде при 30°C. Для описания кинетики пострадиационного восстановления было использовано следующее уравнение:

$$D_{\text{эф}}(t) = D_1 [K + (1 - K)e^{-\beta t}],$$

где t – продолжительность восстановления, D_1 , - первоначальная доза, в которой были облучены клетки, $D_{\text{эф}}(t)$ – эффективная доза, в основание натуральных логарифмов, β – константа восстановления, характеризующая вероятность восстановления от радиационного повреждения в единицу времени, K – необратимый компонент радиационного поражения.

Результаты. Показано, что в пострадиационный период повышение радиочувствительности клеток после действия альфа-излучения и химического сенситизатора не зависит от концентрации химического препарата, а связан с повышением доли необратимых радиационных повреждений. Вероятность восстановления клеток оставалась неизменной.

Выводы. Данные показали, что механизм угнетения восстановления химическими сенситизаторами после воздействия плотноионизирующим излучением связан не с поломкой самого процесса восстановления, а происходит из-за возникновения дополнительных нерепарируемых повреждений.

РАДИОСЕНСИБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ БОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ *IN VITRO*

Гараева Л.^{1,2,3}, Бурдаков В.^{1,2}, Разгильдина Н.¹, Волницкий А.^{1,2}, Амерканов Д.^{1,2},
Пак Ф.^{1,2}, Лебедев Д.^{1,2}, Шабалин К.^{1,2}, Иванов Е.¹, Ежов В.¹, Коневега А. Л.^{1,2,3},
Штам Т. А.^{1,2}

¹НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, Гатчина, Россия

²НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
garaeva.luiz@yandex.ru

На сегодняшний день, радиотерапия играет ключевую роль в лечении злокачественных новообразований. На данный момент, протонная терапия используется для лечения многих видов раковых заболеваний, и особенно данный метод актуален, когда отсутствует возможность хирургического вмешательства в совокупности с неприемлемым риском для пациентов при использовании традиционной лучевой терапии (ЛТ). Несколько лет назад было высказано предположение, что увеличение поглощенной дозы в опухолевой мишени при облучении протонным пучком в пике Брэгга может быть достигнуто при накоплении бора-11 в злокачественных клетках. Было высказано предположение, что механизм, ответственный за увеличение дозы облучения, связан с реакциями бор-протонного ядерного синтеза с образованием низкоэнергетических α -частиц с высокой линейной передачей энергии $11\text{B}(\text{p}, 3\alpha)$. Ограниченное число исследований, посвященных применению ядерной реакции $11\text{B}(\text{p}, 3\alpha)$ в протонной терапии, и противоречивость полученных результатов пока не позволяют судить о дальнейших перспективах использования борсодержащих препаратов в протонной терапии. В данной работе мы экспериментально проверили возможность повышения биологической эффективности протонов в злокачественных клетках, содержащих бор-11, *in vitro*.

Клетки рака предстательной железы и глиобластомы человека предварительно инкубировали с соединением бора ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, тетраборат натрия) и облучали в диапазоне доз 0,5-20 Гр в пике Брэгга на синхроциклотроне СЦ-1000 ПИЯФ. Для проверки предположения о том, что в основе механизма усиления гибели злокачественных клеток при облучении высокоэнергетическим протонным пучком лежит физическая ядерная реакция $11\text{B}(\text{p}, 3\alpha)$, клеточные линии также облучали градуированными дозами 2-20 Гр с использованием подъемного ^{60}Co источника γ -лучей "Исследователь". Затем радиационную чувствительность определяли методом МТТ-теста и колориметрического анализа с использованием кристаллического фиолетового для окрашивания клеточных колоний.

В нашем исследовании *in vitro* была показана способность соединения бора активировать гибель злокачественных опухолевых клеток протонным пучком при облучении в пике Брэгга. В то же время более слабый подобный эффект был определен для гамма-облучения, что может свидетельствовать не только о физической природе воздействия бора на жизнеспособность облученных раковых клеток, но и о специфическом биологическом эффекте. Полученные данные свидетельствуют о том, что комбинированное воздействие протонной терапии с тетраборатом натрия на раковые клетки повышает их чувствительность к протонному облучению при низкой токсичности препарата бора для клеток нормальной морфологии.

Работа поддержана НИЦ "Курчатовский институт" (приказ №1363)

РАЗРАБОТКА РАДИОПРОТЕКТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ

*К.А. Каменских¹, А.Л. Попов¹, А.М. Ермаков¹,
Д.Д. Колманович¹, В.К. Иванов²*

¹ Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук,
Пуццино

² Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова, г. Москва, Россия
kristina.kamensk@mail.ru

Благодаря своим размерам наноматериалы обладают новыми и улучшенными физическими, химическими и биологическими свойствами. Одним из таких является нанокристаллический диоксид церия (НДЦ). К настоящему времени установлено, что НДЦ обладает биологической активностью, обусловленной его уникальной окислительно-восстановительной способностью в биологических средах, связанной с высоким уровнем нестехиометрии его поверхности в нанокристаллическом состоянии. Установлено, что в зависимости от условий микроокружения, НДЦ может проявлять восстановительные (антиоксидантные) или окислительные свойства (прооксидантные). Эти особенности позволяют в одних случаях НДЦ инактивировать широкий спектр активных форм кислорода (АФК), а в других случаях генерировать некоторые их формы (например, пероксид водорода), тем самым ингибируя или индуцируя развитие окислительного стресса в клетке. Таким образом, в условиях воздействия на клетки ионизирующего излучения, НДЦ может выступать в качестве радиопротектора или радиосенсибилизатора.

Целью данного исследования является исследование влияния НДЦ на культуру раковых клеток линии MCF-7 в условиях воздействия рентгеновского излучения.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на культуре аденокарциномы протоков молочной железы человека линии MCF-7. Клетки подвергались рентгеновскому облучению в дозах 1,5 и 15 Гр на установке РУТ-12 (15 мА, 200 кВ) при мощности 1 Гр/мин. Двунитевые разрывы ДНК изучались посредством иммунофлуоресцентной окраски на локусы γ -H2AX и прямого подсчета с использованием флуоресцентного микроскопа Axiovert 200 (Zeiss). Жизнеспособность клеточной культуры определялась с помощью МТТ-теста и оценки доли живых и мертвых клеток (Live/Dead assay).

Результаты. Показано, что предварительная обработка клеток НДЦ в дозе 10^{-3} , 10^{-5} и 10^{-7} М снижает количество двучепочных разрывов ДНК через час после облучения. Установлено, что НДЦ выступает в качестве радиосенсибилизатора по отношению к клеткам аденокарциномы линии MCF-7 в концентрациях от 10^{-7} до 10^{-3} М.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что НДЦ способен модулировать клеточный ответ на воздействие ионизирующего излучения. Молекулярные механизмы такой селективной активности НДЦ требуют дальнейшего изучения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90031.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ И ПРОТОНОВ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САРКОМЫ М-1

А. Е. Корецкая, В. В. Южаков, С. Н. Корякин, Н. К. Фомина, А. Н. Соловьев,

И.Э. Ингель, Л. Е. Севанькаева, Н. Д. Яковлева, М. Г. Цыганова

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск

nastya93-rabota@mail.ru

Одним из наиболее эффективных методов лучевой эрадикации опухолей, расположенных близко к критическим радиочувствительным органам, считается протонная терапия.

Цель данного исследования — изучить сравнительную эффективность воздействия γ - и протонного излучений на пролиферативную активность неопластических клеток, их гибель путем апоптоза и васкуляризацию соединительнотканной опухоли, перевиваемой крысам.

Материалы и методы. Работа выполнена на самцах крыс с имплантированной под кожу голени саркомой М-1. Опухоленосители были распределены на три группы – контрольную и две опытные. В 1-ю опытную группу вошли крысы, опухоли которых подвергали воздействию γ -излучения ^{60}Co в дозе 32 Гр. Опухолевые узлы животных 2-й группы облучали протонами в дозе 32 Гр на пучке терапевтического комплекса «Прометеус». Животных выводили из опытов через 6 сут от начала облучения.

Методы исследования включали иммуноокрашивание на PCNA и маркер эндотелия – CD31. Определяли объемную долю паренхимы с реакцией ядер опухолевых клеток на PCNA (ρ_{PCNA}), число сечений профилей сосудов на единицу площади среза (N_{COC}), а также плотность опухолевых клеток (клеточность, N_{OK}) на 1 мм^2 площади среза, пролиферативный показатель по PCNA (I_{PCNA}), митотические индексы и индексы апоптоза ($I_{\text{АП}}$). Фракцию пролиферирующих клеток в паренхиме опухолей рассчитывали по формуле: $\Phi_{\text{PCNA}} = \rho_{\text{PCNA}} \times I_{\text{PCNA}} \times K_N$, где $K_N = N_{\text{OK}}$ в опыте/ N_{OK} в контроле.

Результаты. У особей контрольной группы плотность сосудов в зоне роста опухолей составила $120,3 \pm 5,8$, а клеточность — 5144 ± 118 на 1 мм^2 , индексы нормальных и патологических митозов ($I_{\text{ПМ}}$) были равны $1,58 \pm 0,31$ и $0,49 \pm 0,06\%$, $I_{\text{АП}}$ – $0,27 \pm 0,09\%$. Расчетное значение Φ_{PCNA} в паренхиме соответствовало $29,9 \pm 2,3\%$.

После воздействия γ -излучения N_{COC} и N_{OK} снизились относительно контроля в 2,4 и 2,7 раза, а $I_{\text{ПМ}}$ и $I_{\text{АП}}$ увеличились в 7,1 и 11,7 раз соответственно. Φ_{PCNA} снизилась относительно контроля почти в 3 раза при $p < 0,001$.

После облучения протонами N_{OK} уменьшилась почти на 20% относительно 1-й опытной группы. $I_{\text{ПМ}}$ и $I_{\text{АП}}$ увеличились статистически значимо в сравнении с этими показателями при действии γ -излучения до $4,63 \pm 0,42$ и $4,90 \pm 0,46\%$. Φ_{PCNA} опухолевых клеток в паренхиме уменьшилось до $4,9 \pm 0,7\%$ при $p = 0,001$ относительно действия γ -излучения. Показатели снижения уровня васкуляризации саркомы М-1 варьировали в диапазоне данных, полученных в опыте с воздействием γ -квантов ^{60}Co .

Расчетные значения ОБЭ протонов при нормировании на 1 Гр подведенной дозы по снижению количественной плотности опухолевых клеток и их пролиферативной активности по PCNA, увеличению содержания патологических митозов и индуцированному апоптозу составили 1,1; 1,3; 1,4 и 1,6 соответственно.

Выводы. При однократном облучении с подведением равных доз γ - и протонного излучений протоны сканирующего пучка по критериям индукции патологических митозов, апоптотической гибели опухолевых клеток и снижения их пролиферативной активности оказывают более выраженную противоопухолевую эффективность.

ЭРИТРОЦИТАРНЫЙ «ЦИТОМ»-ТЕСТ НА МОДЕЛИ *Danio rerio* В ПЕРСПЕКТИВЕ ДОКЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ

А.А.Ливанова¹, А.В.Завирский¹, М.П.Привалов¹, А.А.Панкратов¹, И.В.Ильичев²,
В.Ю.Кравцов¹

¹Военно-медицинская академия им.С.М.Кирова, Санкт-Петербург, Россия

²Военный инновационный технополис ЭРА, Анапа, Россия

alexandralivanova@mail.ru

Пресноводные рыбы широко используются в фундаментальных и прикладных радиобиологических исследованиях. В работе Анбумани и соавт. (2012) было показано, что при воздействии ионизирующего излучения в эритроцитах периферической крови рыб формируются ядерные аномалии различных типов (микроядра, ядерные протрузии, межъядерные хроматиновые мосты и пр.). Подобные кариопатологии могут использоваться в качестве маркеров лучевого воздействия с целью тестирования радиопротекторных и радиосенсибилизирующих веществ на модели организма рыб.

Целью данного исследования являлось установление зависимости встречаемости ядерных аномалий в эритроцитах периферической крови пресноводных рыб *Danio rerio* от дозы рентгеновского излучения. Рассматривается возможность использования *Danio rerio* как новой перспективной *in vivo* модели для доклинических исследований радиосенсибилизирующих агентов.

Материалы и методы. Для определения встречаемости ядерных аномалий в эритроцитах периферической крови 9 групп особей *Danio rerio* дикого типа были подвергнуты воздействию рентгеновского излучения в дозах 0, 0,5, 1,0, 1,5, 2, 3, 4, 6, 8 Гр при помощи аппарата «РУМ-17». После облучения особи возвращались в условия аквакультуры. Через 72 часа после облучения кровь забирали из хвостовой вены путем обрезания хвостового плавника, наносили на чистое предметное стекло, фиксировали и окрашивали азури II эозином по методу Романовского. Микроскопия полученных мазков крови производилась при увеличении 1000х. В каждой мазке подсчитывали 3000 эритроцитов, вычисляя количество клеток, содержащих аномалии ядер следующих типов: микроядра, межъядерные хроматиновые мосты, ядерные протрузии и гантелевидные ядра.

Результаты. Через 72 часа после воздействия рентгеновского излучения в разных дозах в эритроцитах периферической крови рыб *Danio rerio* обнаруживались ядерные аномалии четырех типов: микроядра, ядерные протрузии, межъядерные хроматиновые мосты, гантелевидные ядра. Получены уравнения линейно-квадратичных функций, характеризующих дозовую зависимость встречаемости микроядер ($y = 0,0509x^2 - 0,1107x + 2,0834$), ядерных протрузий ($y = 0,0509x^2 - 0,1107x + 2,0834$) и гантелевидных ядер ($y = 0,0105x^2 - 0,0454x + 0,4757$). Встречаемость межъядерных хроматиновых мостов с дозой не коррелировала ($r=0.2000$, $p<0.05$). Значения частоты встречаемости микроядер достоверно отличались от контрольных в группах особей, облученных в дозах 6,0 Гр и 8,0 Гр ($p=0,0014$ и $p=0,0008$, соответственно). Значения частоты встречаемости ядерных протрузий также достоверно отличались от контрольных в группах особей, облученных в дозах 6,0 Гр и 8,0 Гр ($p=0,0039$ и $p=0.0079$, соответственно).

Выводы. Экспериментально установленные дозовые зависимости частоты встречаемости эритроцитов с микроядрами и ядерными протрузиями, а также формирование этих аномалий только при воздействии излучения в дозах выше 6 Гр, указывает на перспективу использования эритроцитарного «цитом»-теста на модели *Danio rerio* как лабораторной тест-системы для доклинических исследований радиосенсибилизаторов.

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПУЛА ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КЛИНИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Матчук О.Н., Селиванова Е.И., Замулаева И.А.

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

Как показывают многочисленные исследования, опухолевые стволовые клетки (ОСК), обнаруженные в злокачественных новообразованиях практически всех локализаций, характеризуются значительно более высокой резистентностью к редкоионизирующему излучению по сравнению с остальной массой клеток. Более того, в последнее время показана возможность дедифференцировки опухолевых не стволовых клеток под влиянием ионизирующего излучения и, как следствие, пополнение пула ОСК после облучения. Данные о количественных изменениях ОСК получены, главным образом, в экспериментальных условиях, в то время как радиационный ответ этой популяции клеток в ходе лучевой и комбинированной терапии онкологических больных остается мало изученным.

Целью работы является выяснение закономерностей радиационного ответа ОСК в экспериментальных условиях и в ходе лечения онкологических больных, а также оценка клинического значения этих закономерностей.

Материалы и методы. Материалом для исследования служили стабильные культуры опухолевых клеток различных линий рака молочной железы и шейки матки человека, а также мышины меланомы в условиях *in vitro* и *in vivo*. Изучался радиационный ответ пула ОСК после γ -облучения в дозах от 2 до 20 Гр. Кроме того, определяли изменение пула ОСК в ходе радиотерапии больных раком шейки матки, молочной железы и верхних дыхательных путей. ОСК идентифицировали с помощью проточной цитометрии по экспрессии ряда поверхностных маркеров, а также по эффективности исключения из клеток флуоресцентного красителя Хёхст 33342.

Результаты. Установлено статистически значимое увеличение количества ОСК после острого и фракционированного γ -облучения клеточных культур в дозах 2-10 Гр по сравнению с необлученным контролем, в то же время, как и следовало ожидать, общее количество опухолевых клеток снижалось. Увеличение пула ОСК коррелировало с индукцией процесса эпителиально-мезенхимальной транзиции (ЭМТ) после радиационного воздействия *in vitro*, а ингибирование ЭМТ нивелировало этот эффект. Выход относительного количества ОСК на единицу дозы был выше при воздействии γ -излучения *in vitro*, чем *in vivo*, как показано на примере меланомы линии В16. Высокая индивидуальная вариабельность доли ОСК была обнаружена в опухолевых образцах больных до лечения и после облучения в суммарной очаговой дозе 10 Гр. У части больных отмечено пострадиационное повышение доли ОСК, которое было ассоциировано с ЭМТ и низкой степенью регрессии опухолей после лучевой терапии.

Заключение. Полученные результаты: 1) свидетельствуют о ЭМТ-зависимом увеличении пула ОСК после воздействия редкоионизирующего излучения; 2) проясняют индивидуальную вариабельность изменений пула ОСК в ходе радиотерапии онкологических больных с использованием редкоионизирующего излучения; 3) позволяют оценить предиктивное значение радиационного ответа ОСК; 4) указывают на необходимость учета радиобиологических свойств ОСК при разработке новых противоопухолевых средств и развитии методов персонализированной медицины.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-75-10025).

ВЛИЯНИЕ ОДНОКРАТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРЫ НЕОСТРИАТУМА

Н.А. Насонова, Д.А. Соколов, А.Г. Кварацхелия, Ж.А. Анохина

ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, г. Воронеж, Россия

nata.nasonova.79@mail.ru

Современные представления о морфологических изменениях, развивающихся в различных отделах нервной системы после воздействия ионизирующего излучения, лишь в общих чертах характеризуют компенсаторно-приспособительные, деструктивные и реактивные изменения нервной ткани.

Цель нашей работы заключалась в выявлении ближайших и отдаленных нестохастических последствий общего облучения и оценке его влияния на нейроны хвостатого ядра.

Материалы и методы. Эксперимент спланирован и проведен в ГНИИИ военной медицины МО РФ (г. Москва). Исследования проводили на 186 беспородных крысах-самцах массой тела 200–230 г в возрасте 1,5–2 месяцев (к началу эксперимента). Крыс облучали однократно в дозе 0,5 Гр. Животных выводили из эксперимента в сроки 5 часов, 14 сут., 6 мес. и 1,5 года. Фрагменты мозга фиксировали в 10% растворе забуференного формалина и после стандартной гистологической проводки заливали в парафин. Фронтальные срезы толщиной 15 мкм окрашивали гематоксилином и эозином, а также толуидиновым синим по Нисслю. На препаратах оценивали тинкториальные свойства и морфологические изменения нейроцитов хвостатого ядра. Проводили подсчет нейроцитов с различными формами морфологической изменчивости, которые выявляли в соответствии с классификацией, разработанной на кафедре анатомии человека ВГМУ им. Н. Н. Бурденко (Федоров В.П. с соавт., 2003). Статистический анализ включал вычисление средних величин, дисперсии, стандартного отклонения, ошибки среднего, коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Результаты. Во время периода ранних проявлений (до 5 ч после воздействия), среди нейроцитов хвостатого ядра происходило перераспределение соотношения нервных клеток с различными типами морфологической изменчивости. Отмечалось уменьшение числа нормохромных нейроцитов за счет увеличения доли гиперхромных и гипохромных нервных клеток. Кроме того, в раннем периоде в хвостатом ядре наблюдались нейроны с признаками деструктивных изменений, такие как пикноморфные нейроны и клетки-тени. В период восстановления (от 14-х сут. до 1,5 лет) происходила постепенная нормализация в соотношении различных форм морфологической изменчивости нейроцитов хвостатого ядра.

Выводы. Появление клеток с деструктивными изменениями уже в ранние сроки после облучения, свидетельствует о высокой чувствительности данного отдела центральной нервной системы к воздействию изучаемого фактора. В период восстановления в нейронах хвостатого ядра преобладают адаптационные (компенсаторно-приспособительные) изменения, заключающиеся в расширении объема физиологической изменчивости нейроцитов в пределах минимальных и максимальных значений биологической нормы, отражающие различные уровни функциональной активности клеток, и развивающиеся по гипо-, нормо- и гиперхромному типам.

ДОЦЕТАКСЕЛ В НИЗКИХ ДОЗАХ СЕНСИБИЛИЗИРУЕТ КЛЕТКИ МАММОСФЕР И ОСК АДЕНОКАРЦИНОМЫ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ЛИНИИ MCF7 К ДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Г. А. Посыпанова, А. Н. Поджилкова, В. Г. Шуватова, Ю. П. Семочкина

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

galinapo@gmail.com

Возникновение рецидивов после радио- и химиотерапии опухолей связано, чаще всего, с присутствием в опухоли очень небольшой популяции высоко резистентных к обоим типам терапии опухолевых стволовых клеток (ОСК). Резистентность ОСК обусловлена повышенной экспрессией АВС-транспортёров и антиапоптотических белков, высокой эффективностью репарации ДНК, высокой активностью характерных для стволовых клеток сигнальных путей. Облучение и химиотерапия опухоли приводят к преимущественной гибели не-ОСК, тем самым обогащая опухоль ОСК, которые способны к пролиферации и дифференцировке, вызывая впоследствии рецидивы. Кроме того, было показано, что лучевая терапия индуцирует перепрограммирование не-ОСК в ОСК при раке молочной железы, а также стимулирует выход ОСК из состояния покоя в клеточный цикл, то есть вносит вклад в развитие вторичных опухолей. Ранее мы показали высокую чувствительность ОСК к противоопухолевому препарату доцетакселу (ДОЦ) при длительном (120 ч) культивировании клеток аденокарциномы молочной железы человека линии MCF7 в виде маммосфер – с препаратом. ДОЦ ингибировал способность ОСК к самообновлению, играющему решающую роль в инициации и метастазировании опухоли.

Целью работы явилось изучение возможности использования противоопухолевого препарата доцетаксела для радиосенсибилизации ОСК в культуре маммосфер линии MCF7 при действии γ -излучения.

Методы. Маммосферы получали из исходной линии MCF7 при культивировании в низкоадгезивных чашках Петри в среде без сыворотки и фенолового красного с добавлением факторов роста. Долю ОСК (клетки с фенотипом CD44⁺/CD24^{-low}) определяли с помощью проточной цитометрии. Клетки облучали на установке "ГУТ-200М" (γ -излучение, ^{60}Co , мощность дозы 0,75 Гр/мин) в дозе 2 Гр. ДОЦ добавляли за 24 ч до облучения. Оценивали выживаемость клеток через 5 сут после облучения путем подсчета в камере Горяева, клоногенную активность, относительное и абсолютное содержание ОСК.

Результаты. Установлено, что предварительное культивирование маммосфер с ДОЦ в низких концентрациях (0,3 и 1 нМ) повышало их радиочувствительность: выживаемость клеток после облучения в дозе 2 Гр составляла 85%, преинкубация с ДОЦ приводила к снижению выживаемости до 42 и 45%, соответственно, ДОЦ в тех же концентрациях ингибировал выживаемость до 80 и 57%. Клоногенная активность составила при тех же условиях 82% (облучение без ДОЦ), 14 и 18% от контроля соответственно, а при действии только ДОЦ – 73 и 11%. Доля ОСК в культурах маммосфер после облучения, после культивирования с ДОЦ и после совместного действия ДОЦ и облучения возрастала, но абсолютное количество ОСК после действия указанных концентраций ДОЦ снизилось со $100 \pm 2,2\%$ в контроле до $91 \pm 0,5$ и $74 \pm 0,5\%$, а после облучения и совместного действия ДОЦ и облучения количество ОСК составило $110 \pm 0,5$, $64 \pm 1,4$ и $49 \pm 1,8\%$ соответственно.

Выводы. Низкие концентрации ДОЦ сенсибилизируют маммосферы и ОСК аденокарциномы молочной железы линии MCF7 к действию γ -излучения. Механизм этого феномена требует изучения.

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРА NOS T1023 В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ ОСТРЫХ И ПОЗДНИХ ЛУЧЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Сабурова А.С., Филимонова М.В., Южаков В.В., Шевченко Л.И.,

Сабуров В.О., Лычагин А.А., Филимонов А.С.

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,
Обнинск, Россия

alinasamsonova.515@gmail.com

Проблема лечения лучевых осложнений радиотерапии крайне актуальна для всех стран мира, поскольку такие патологии с трудом поддаются консервативной терапии и нередко являются причиной инвалидизации пациентов. Перспективным подходом может стать профилактика острых и поздних лучевых осложнений средствами, способными селективно защищать здоровые ткани, не снижая эффективность лучевого воздействия на опухоль. Такими свойствами обладают селективные ингибиторы синтаз оксида азота (NOS), в частности, синтезированное в лаборатории радиационной фармакологии МРНЦ им. А.Ф. Цыба соединение T1023.

Цель исследования: изучение возможности применения T1023 в качестве средства профилактики острых и поздних лучевых повреждений.

Материалы и методы. Исследования острых лучевых повреждений проведены на аутбредных мышах в возрасте 2-2,5 месяца. На 7 сутки роста карциномы Эрлиха (КЭ) животных подвергали локальному однократному (20-35 Гр) и фракционированному (20Грх2) воздействию γ -излучения ^{60}Co . Лучевое повреждение нормальных тканей оценивали по классификации RTOG/EORTC, 1995. Исследование поздних лучевых повреждений проведено на крысах линии Wistar в возрасте 2,5-3 месяца. Животные получали локальное однократное воздействие γ -излучения ^{60}Co на область грудной клетки в дозе 12,5 Гр. Патоморфологические исследования проводили через 2 и 6 месяцев после лучевого воздействия. Оценка лучевых повреждений лёгочной ткани проводили путем вычисления объёмного содержания зон уплотнения паренхимы лёгких. При исследовании как ранних, так и поздних лучевых повреждений соединение T1023 животным опытных групп вводили однократно внутривентрально в дозе 75 мг/кг за 30 минут до лучевого воздействия. В качестве препарата сравнения использован амифостин в дозе 250 мг/кг.

Результаты. При однократном и фракционированном лучевом воздействии на область опухолевого узла солидной КЭ применение соединения T1023 в его оптимальной радиозащитной дозе выражено и статистически значимо снижало клинко-морфологическую тяжесть острого лучевого ожога, при этом не снижая эффективность радиотерапии. В оптимальных радиозащитных дозах амифостин (Sigma Aldrich) и T1023 обеспечивали равную по эффективности селективную защиту нормальных тканей. Однако T1023 реализует это действие в дозе, в 2 раза более безопасной (26% ЛД₁₆), чем амифостин (50% ЛД₁₆). На модели лучевого фиброза лёгких показано, что соединение T1023 через 2 месяца после облучения не оказывало существенного объективного влияния на развитие радиационно-индуцированных повреждений лёгких. Но через 6 месяцев превентивное радиозащитное действие T1023 реализовалось объективно выраженным и статистически значимым ограничением патоморфологических проявлений постлучевого пульмонита и нормализацией гистоструктуры лёгких.

Выводы. Ингибитор NOS T1023 можно рассматривать как перспективную основу для разработки эффективных фармакологических средств профилактики как острых, так и поздних лучевых повреждений.

МОДУЛЬНЫЕ НАНОТРАНСПОРТЕРЫ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЭМИТТЕРОВ ЧАСТИЦ С КОРОТКИМ ПРОБЕГОМ В ЯДРА РАКОВЫХ КЛЕТОК-МИШЕНЕЙ

Соболев А.С.^{1,2}

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия

²Институт биологии гена РАН, Москва, Россия

alsobolev@yandex.ru

Цель доклада – сравнительная характеристика модульных нанотранспортеров (МНТ) как средств доставки эмиттеров частиц с коротким пробегом (альфа-частиц и электронов Оже) с целью избирательного уничтожения раковых клеток. Принцип, положенный в основу дизайна МНТ – использование естественных процессов клеточного транспорта, благодаря чему МНТ, представляющие собой искусственные химерные полипептиды, способны проникать внутрь клетки-мишени, а затем – в её ядро.

Материалы и методы. В анализируемых работах докладчика и его коллег использованы генно-инженерные методы для создания плазмид, кодирующих МНТ; совокупность биотехнологических, биохимических и физико-химических методов для наработки, очистки и характеристики биосинтезированных МНТ; методы модификации полипептидов для присоединения к ним радионуклидов (альфа-эмиттер: ²¹¹At; Оже-эмиттеры: ¹²⁵I, ¹¹¹In, ⁶⁷Ga); конфокальная и атомно-силовая микроскопии для изучения процессов внутриклеточного транспорта и локализации МНТ; методы оценки выживаемости клеток *in vitro*, включая МТТ-тест и тест по колониеобразованию; однофотонная эмиссионная компьютерная томография для изучения биораспределения МНТ с присоединенным радионуклидом; стандартные методы определения роста опухоли, выживаемости животных-опухоленосителей, острой и хронической токсичности и пр.

Результаты. На клеточных и животных моделях показано, что доставляемые с помощью МНТ радионуклиды, испускающие электроны Оже или альфа-частицы, благодаря специфической доставке в различные раковые клетки-мишени (эпидермоидная карцинома, рак мочевого пузыря, глиобластома, меланома, рак шейки матки), а в них – в ядро, приобретают клеточную специфичность и намного большую эффективность. Помимо МНТ полипептидной природы, разработаны также «гибридные» МНТ, полученные путем ковалентного присоединения непептидного лиганда (например, производного фолиевой кислоты) к безлигандному МНТ. Полученные «гибридные» фолат-МНТ, аналогично МНТ полипептидной природы, специфически интернализировались клетками-мишенями со сверхэкспрессией фолатных рецепторов, проникали в их ядра и, доставляя в них индий-111, эффективно поражали их. Фолат-МНТ-индий-111 продемонстрировал выраженную противоопухолевую активность на животных моделях. Доклинические испытания убедительно подтвердили высокую противоопухолевую эффективность и безопасность МНТ, несущих индий-111.

Выводы. Разработанный подход позволяет создавать различные МНТ в зависимости от задачи, например: для создания новых МНТ для новых типов клеток-мишеней, нового целевого внутриклеточного компартмента и т.д. Различные варианты применения МНТ для разнообразных целей и задач позволяют рассматривать этот подход как базовый, на основе которого могут быть получены различные частные решения, иными словами, как платформу.

Работа поддержана грантом РНФ № 17-14-01304.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ОСТРОГО И ХРОНИЧЕСКОГО БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КЛЕТКИ ЭПИДЕРМОИДНОЙ КАРЦИНОМЫ ЧЕЛОВЕКА A431

*Сороко С.С., Кутова О.М., Балалаева И.В., Брилкина А.А., Воденеев В.А.,
Щилягина Н.Ю.*

ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
kastarashan@gmail.com

Острая лучевая терапия с использованием гамма-источников является одним из основных методов лечения онкологических заболеваний, применяемых в современной медицине. Наряду с классическим подходом волновым облучением все большую популярность набирает радионуклидная терапия с применением бета- и альфа-излучателей, а также брахитерапия. Однако механизм действия корпускулярного, в частности хронического бета-излучения, на клетки животных и человека изучен недостаточно, что не позволяет использовать данные виды терапии максимально эффективно. В связи с этим **целью** работы стал сравнительный анализ механизма действия острого и хронического бета-излучения на клетки эпидермоидной карциномы человека A431.

Материалы и методы: Эксперименты проводили на клетках эпидермоидной карциномы человека A431. В качестве источника для острого облучения использовали линейный ускоритель Novalis Tx с энергией электронов 6 МэВ, расстоянием «источник-поверхность» 100 см, аппликатором 25x25 см² и мощностью дозы 10 Гр/мин. Облучение проводили в дозах 4 – 64 Гр. Дозу контролировали временем облучения, которое не превышало 8 минут. Для хронического облучения использовали закрытый бета-излучатель Sr-Y-90 с мощностью дозы 0.5-1.5 Гр/ч. Облучение длилось 24 часа, моделируя дозы 6-72 Гр. Дозу контролировали мощностью дозы облучения в различных комбинациях источников и экранирующих пленок.

На первом этапе исследования были получены кривые радиочувствительности A431 при действии острого и хронического бета-излучения. На следующие сутки после посадки клеток в планшеты проводили облучение. Жизнеспособность оценивали через 72 часа после начала облучения методом МТТ-теста.

На втором этапе проводили мониторинг состояния клеточного цикла, а также типа клеточной гибели, индуцированной острым и хроническим бета-облучением. Мониторинг осуществляли методом проточной цитофлуорометрии через 24, 48 и 72 часа после начала облучения. Окраску проводили коммерческими наборами: BD Cycletest™ Plus DNA Kit (BD Biosciences, США) и Dead Cell Apoptosis Kit with Annexin V FITC and PI (Invitrogen, США).

Результаты: Определение дозовой зависимости жизнеспособности клеток эпидермоидной карциномы человека A431 показало наличие различий в величинах LD₅₀ и D₃₇ для острого и хронического бета облучения.

Для различных режимов облучения обнаружены различия в соотношении клеток, гибель которых протекала по пути апоптоза и некроза. Мониторинг клеточного цикла выявил характерные для острого и хронического бета-облучения различия в соотношении клеток, находящихся в фазах G1, S, G2 клеточного цикла.

Выводы: Результаты работы свидетельствуют о различиях в эффектах острого и хронического облучения на клетки эпидермоидной карциномы и вносят вклад в понимание обуславливающих данные различия механизмов.

Работа выполнена в рамках РФФИ 20-34-70124 Стабильность.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ И ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР ОТДАЧИ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ НА КЛЕТКИ В14-150

*М. В. Трошина, Е. В. Корякина, В. И. Потетня, А. Н. Соловьев, В. О. Сабуров,
Е. И. Казаков, С. С. Дюженко, А. А. Лычагин, С. Н. Корякин*

¹ МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск,
Россия

troshina-m-v@mail.ru

Использование ускоренных заряженных частиц в лучевой терапии позволяет добиться большей конформности в случае глубоко расположенных новообразований по сравнению с фотонами. Сочетание разных типов ионов в одной схеме лечения дает возможность нивелировать обусловленные физическими характеристиками недостатки частиц одного типа за счет отличных от них свойств других ионов. При комбинированном облучении протонами и ионами углерода происходит взаимодействие повреждений, индуцируемых протонным пучком как с редкоионизирующей (протоны, дельта-электроны), так и с плотноионизирующей ($Z=1-8$) компонентами пучка ионов углерода. Вклад плотноионизирующей компоненты в конечный биологический эффект можно смоделировать посредством облучения клеток быстрыми нейтронами в неравновесных условиях, поскольку спектр образуемых при этом вторичных тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) близок по составу и значениям ЛПЭ к излучению, характерному для области пика Брэгга ионов углерода.

Цель исследования состояла в определении эффективности комбинированного воздействия на опухолевые клетки китайского хомячка протонами и нейтронами в неравновесных условиях, используемыми в качестве модели ионов углерода.

Материалы и методы. В работе использовали перевиваемую линию клеток китайского хомячка В14-150 (фибросаркома) в стационарной фазе роста культуры (5-6 сутки после пересева). Эксперименты проводили в МРНЦ им. А.Ф. Цыба (г. Обнинск) с разной последовательностью воздействия (протоны→ТЗЧ, ТЗЧ→протоны), вкладом ТЗЧ в суммарную дозу (20% и 40%), временным интервалом между фракциями (0,5 и 2 ч). Клетки в монослое облучали на комплексе протонной терапии «Прометеус» (ЗАО «Протом») в центре расширенного до 15 мм пика Брэгга и нейтронном генераторе НГ-14 (ВНИИА им. Н.Л. Духова) через стеклянную подложку флакона, определяя поглощенные дозы в монослое клеток расчетно-экспериментальным методом.

Результаты. Наибольший уровень выживаемости клеток был получен при облучении в последовательности протоны→ТЗЧ с интервалом 2 ч. При обратной последовательности (ТЗЧ→протоны) доля выживших клеток была ниже для обоих вариантов вклада ТЗЧ в суммарную дозу. В случае интервала между облучениями 0,5 ч уровни биологического эффекта для разных последовательностей воздействия и соотношений доз протонов и ТЗЧ не имели статистически значимых различий.

Выводы. Снижение биологического эффекта при облучении клеток протонами первой фракцией и временного интервала 2 ч вероятно обусловлено восстановлением большей части повреждений, индуцируемых в клетках протонами, в отличие от ТЗЧ, для действия которых характерно образование трудно- и нерепарируемых повреждений. Полученные результаты согласуются с представленными ранее данными об эффективности комбинированного протон-ионного воздействия на клетки В14-150, что указывает на преимущественное влияние именно частиц с высокими ЛПЭ излучения на конечный радиобиологический эффект.

БИОДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОБОЧНОГО ОБЛУЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ РАДИОЙОДТЕРАПИИ

*И.К.Хвостунов¹, В.В.Крылов¹, А.А.Родичев¹, Н.Н.Шепель¹, О.Н.Коровчук¹,
В.С.Пятенко^{1,2}, А.С.Жиронкина¹, Т.И.Хвостунова¹*

¹МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск, Россия

²Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия
igor.khvestunov@gmail.com

Радиойодтерапия (РЙТ) является необходимым этапом в лечении больных раком щитовидной железы. Несмотря на адресное воздействие радиоактивного йода на патологические очаги при РЙТ отмечается побочное внутреннее облучение других органов и тканей. В этой связи необходима надежная оценка побочного внутреннего облучения с учетом индивидуальных особенностей пациентов. Цитогенетическое обследование пациентов способно решить такую задачу.

Цель работы состояла в оценке дозы общего внутреннего побочного облучения пациентов, проходящих РЙТ, методом биодозиметрии и зависимости дозы от ряда факторов. Для этого применяли анализ хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови.

Материалы и методы. В обследованную группу вошли 8 пациентов мужчин и 34 женщины, возраст которых варьировал в пределах 1,6 – 71,9 лет, включая 4 человека, которые получали дополнительную дистанционную лучевую терапию (ДЛТ) в дозе 25 – 56 Гр. РЙТ была применена однократно у 18 человек, два и более раз – у 24. Суммарное число процедур РЙТ в группе варьировало в пределах от 1 до 21 раза. Схема цитогенетического обследования представляла собой анализ двух образцов крови, взятых у пациента до начала РЙТ и сразу после его выхода из «закрытого режима» после снижения мощности дозы ниже 20 мкЗв/час на расстоянии 1 метра. Применялся стандартный и FISH метод анализа в клетках первого митоза. Было проведено 68 обследований стандартным и 24 обследования FISH-методом.

Результаты. Цитогенетическое обследование подгруппы без ДЛТ показало, что в результате однократной РЙТ средний прирост частоты нестабильных маркеров (дицентрики+центрические кольца) составил $2,62 \pm 0,25/100$ клеток, прирост частоты стабильных маркеров (полные+неполные транслокации) - $3,48 \pm 0,52/100$ GE-клеток, что соответствует дозе облучения 0,74 (CI: 0,50 - 0,93) и 1,22 (CI: 0 - 1,68) Гр, соответственно. В группе с ДЛТ из 8 приростов нестабильных маркеров значимо отличаются от среднего значения в группе без ДЛТ только 2 величины, прирост же стабильных маркеров значимо не отличается. Методом множественной корреляции была проанализирована зависимость индукции хромосомных aberrаций от следующих 8 показателей: время, проведенное в «закрытом режиме» (фактически, это время, за которое в организме пациента остается такое количество радиоактивного йода, которое обеспечивает мощность дозы на расстоянии 1 метр менее 20 мкЗв/час), разовая введенная активность, суммарная активность, полученная за все циклы РЙТ, возраст пациента, пол пациента, кратность курсов РЙТ, наличие метастазов и наличие дополнительной ДЛТ. Анализ корреляционной матрицы для стабильных и нестабильных маркеров показал высокий уровень взаимосвязи частоты маркеров лишь с суммарной активностью, полученной пациентом за все циклы РЙТ. Таким образом, основную роль может играть только индивидуальная скорость выведения радиойода.

Выводы. Прирост частоты стабильных и нестабильных aberrаций не зависит от 8 исследованных показателей и наличия ДЛТ. Значимой является взаимосвязь частоты aberrаций с суммарной активностью, полученной за все предшествующие циклы РЙТ.

БОЛЕВОЙ СИНДРОМ КАК КРИТЕРИЙ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОСТНЫХ МЕТАСТАЗОВ

Е.В. Хмелевский, Н.М. Бычкова

МНИОИ им. П.А.Герцена, филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ РФ, Москва
khmee53@mail.ru

Цель исследования: выбор оптимальных критериев эффективности дистанционной лучевой терапии костных метастазов.

Материалы и методы. Проанализированы результаты 3-х-этапного рандомизированного исследования, включившего 810 курсов лучевой терапии у 576 больных с костными метастазами. Большинство случаев представлены метастазами рака молочной железы – 502 (62%), простаты - 66 (8,1%), легкого - 65 (8%), почки – 54 (6,7%), толстой кишки – 27 (3,3%). В числе прочих – 17 пациентов (2,1%) с метастазами в скелет без выявленного первичного очага. Применяли традиционное мелкофракционное дистанционное фотонное облучение и 3 крупнофракционных варианта с дозами 26Гр, 19,5Гр и 13Гр за 4, 3 и 2 фракции по 6,5Гр, соответственно. Для каждого из крупнофракционных вариантов использовали 3 режима подведения дозы: 1 фракция в 5 дней, через день или ежедневно. Эффективность лучевой терапии оценивали по вероятности достижения частичного или полного обезболивания, степени регрессии боли относительно исходного уровня, риску и срокам рецидива болевого синдрома. Для сравнения ранговых показателей использовали критерии Пирсона и Краскела-Уоллиса, а для поиска независимых факторов прогноза стойкого обезболивания - регрессионную модель Кокса

Результаты. Медиана наблюдения составила 76 месяцев. Наиболее частыми локализациями поражения были позвоночник и кости таза - 48,1% и 31,6% случаев, соответственно. Исходная интенсивности болевого синдрома, оценивалась по 4-х-балльной вербальной шкале и оказалась достоверно выше при раке простаты и легкого ($p < 0.01$ - относительно рака молочной железы). Общая эффективность лучевой терапии (полный + частичный обезболивающий эффект) составила 96,2%, полнота редукции болевого синдрома – 77,9%, а частота полного обезболивания - 56,2%. Именно вероятность достижения полного обезболивания коррелировала с величиной дозы и локализацией первичной опухоли. Так, частота полных эффектов при метастазах рака молочной железы и простаты была достоверно выше по сравнению с метастазами рака толстой кишки почки: 62,9% и 59,1%, соответственно, против 33,3% и 27,8%, ($p < 0,03$). Независимыми факторами прогноза полного стойкого обезболивания, наряду с локализацией первичной опухоли, оказались исходная интенсивность болевого синдрома и величина суммарной очаговой дозы. Исходная протяженность поражения и наличие деформации кости в зоне воздействия, а также режим облучения не оказали заметного влияния на вероятность достижения полного эффекта. На основании полученных данных построена шкала сравнительной радиочувствительности костных метастазов, позволяющая отнести к группе наиболее радиочувствительных (для разовых доз 6,5Гр) метастазы рака молочной железы, простаты, меланомы, PNET, а к наиболее резистентным – метастазы рака почки, толстой кишки, желудка.

Заключение. Вероятность полного обезболивания оказалась наиболее значимым клиническим критерием в оценке особенностей ответа на лучевую терапию костных метастазов различной природы. При этом, характер полученного эффекта позволяет считать, что в его основе лежит истинное стойкое торможение опухолевого роста.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ ВИМЕНТИНА В ОБРАЗЦАХ РАКА ШЕЙКИ МАТКИ В ОТВЕТ НА ОБЛУЧЕНИЕ В СУММАРНОЙ ОЧАГОВОЙ ДОЗЕ 10 ГР

*А.О. Якимова, О.Н. Матчук, В. Р. Гусарова, Е.И. Селиванова, Л.С. Мкртчян,
И.А. Замулаева*

МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,
Обнинск, Россия
bingooo444@gmail.com

Введение. Рак шейки матки (РШМ) является одним из наиболее распространенных онкологических заболеваний у женщин. Как известно, исход лечения зависит не только от клинико-морфологических факторов (стадии заболевания, гистологического типа опухоли, степени дифференцировки опухолевых клеток и др.), но и от особенностей индивидуальной реакции опухолевых клеток на различные терапевтические воздействия. Поскольку одним из основных методов лечения РШМ является радиотерапия, особую значимость приобретает поиск прогностических маркеров, ассоциированных с радиационным ответом клеток опухолей данной локализации. Известно, что ионизирующие излучения способны индуцировать эпителиально-мезенхимальную транзицию (ЭМТ) в злокачественных новообразованиях эпителиального происхождения и, как следствие, повышать миграционную активность опухолевых клеток, однако индивидуальные особенности этого важного для метастазирования процесса изучены недостаточно. В связи с этим **целью** работы является оценка изменений экспрессии виментина - маркера ЭМТ – у больных РШМ в ответ на дистанционное облучение первичного очага в суммарной очаговой дозе (СОД) 10Гр на линейном ускорителе электронов в режиме стандартного фракционирования фотонного излучения (6 МэВ) по 2Гр ежедневно.

Материалы и методы. Материалом для исследования являлись соскобы с шейки матки больных РШМ до лечения и после указанного радиационного воздействия. Анализ экспрессии генов проводили при помощи ПЦР в реальном времени, в качестве референсного гена выбран ген домашнего хозяйства *YWHAZ*. В препаратах, иммуноцитохимически окрашенных мечеными моноклональными антителами к виментину, определяли долю виментин-позитивных опухолевых клеток с помощью флуоресцентной микроскопии (Nicon, Япония).

Результаты. В ходе анализа образцов РШМ, полученных от 35 пациенток, установлено пострadiационное повышение доли виментин-положительных клеток по сравнению с исходным уровнем до лечения: $26,9 \pm 2,8\%$ vs $14,7 \pm 2,2\%$ в среднем ($\pm$ SE), соответственно ($p=0,001$). Показана обратная линейная зависимость пострadiационных изменений доли виментин-положительных клеток от исходного количества этих клеток до лечения ($R = -0,36$, $p = 0,03$). Согласно предварительным данным, аналогичная закономерность наблюдается и при анализе экспрессии виментина в образцах РШМ, взятых до лечения и после облучения в СОД 10 Гр, на уровне мРНК. Важно отметить, что пострadiационное увеличение экспрессии виментина на уровне белка коррелировало с увеличением доли опухолевых стволовых клеток, наблюдаемым у части пациентов в ходе радиотерапии ($R = 0,45$, $p = 0,008$).

Заключение. Результаты работы подтверждают данные литературы о радиационной индукции процесса ЭМТ в опухолевых клетках не только в экспериментальных, но и клинических условиях. Полученные данные позволяют предположить, что оценка уровня экспрессии виментина до лечения может быть полезна для прогнозирования реакции опухоли на облучение и персонализации лечения, однако для проверки этого предположения необходимы дальнейшие исследования.

ПОИСК МЕХАНИЗМОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОРАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ТРИЖДЫ НЕГАТИВНОГО РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

А.О. Якимова, А.В. Хохлова, В.А. Мосина, А.Е. Кабаков

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,
г. Обнинск, Россия

anna.prosovskaya@gmail.com

Трижды негативный рак молочной железы (Зн-РМЖ) невосприимчив к широкому спектру таргетных препаратов. В ряде исследований показано, что клетки Зн-РМЖ проявляют высокую резистентность к радиотерапии, и даже химиотерапия не всегда даёт хороший результат. В связи с этим, актуальным является поиск подходов, позволяющих повысить чувствительность клеток Зн-РМЖ к различным терапевтическим воздействиям. Гипертермия считается одним из самых перспективных подходов для сенсibilизации клеток. Ранее мы показали, что линия опухолевых клеток MDA-MB-231 (модель Зн-РМЖ базального подтипа) проявляет очень высокую термочувствительность по сравнению с клетками MCF-7 (модель РМЖ люминального типа А), что позволяет ожидать высокую эффективность сенсibilизации клеток именно Зн-РМЖ при помощи гипертермии.

Цель исследования – изучить закономерности и возможные механизмы, обуславливающие высокую термочувствительность клеток линии MDA-MB-231 и эффективную радиосенсibilизацию этих клеток при помощи прогрева.

Материалы и методы. Работа выполнена на клетках РМЖ линий MDA-MB-231 и MCF-7. Тепловой шок проводили в водяной бане при 43°C в течение 1 часа. Облучение клеток в дозах 5 и 10 Гр проводили на γ -установке «Агат» (мощность дозы 0,9 Гр/мин). Анализ динамики транскрипционного ответа на гипертермию по генам *HSP27*, *HSP70*, *HSP90A*, *HSP90B* проводили при помощи ПЦР «в реальном времени». Фоновый уровень двуцепочечных разрывов ДНК в клетках оценивали при помощи иммуноцитохимической окраски антителами к фосфо-гистонам γ H2AX. Эффективность термо-радиосенсibilизации оценивали при помощи МТТ-теста и прямого подсчета клеток через 3 суток после воздействия. Статистическую обработку результатов проводили с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни.

Результаты. Установлено, что клетки Зн-РМЖ линии MDA-MB-231 характеризуются более мощным транскрипционным ответом на тепловой шок по сравнению с клетками линии MCF-7, что согласуется с показанной нами ранее их повышенной термочувствительностью. Показано, что фоновый уровень фокусов γ H2AX в клетках линии MDA-MB-231 значительно выше ($p < 0.01$), чем в клетках линии MCF-7. Продемонстрирована возможность эффективной радиосенсibilизации клеток Зн-РМЖ линии MDA-MB-231 при помощи гипертермии.

Обсуждение и выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что гипертермия может служить перспективным подходом для эффективной радиосенсibilизации клеток Зн-РМЖ. Одной из причин, определяющих высокую эффективность радиосенсibilизации клеток при помощи гипертермии может служить высокий фоновый уровень фосфо-гистонов γ H2AX в ядре, отражающий большое количество двуцепочечных разрывов ДНК. Этот факт указывает на высокий уровень геномной нестабильности, требующий постоянной активности систем репарации ДНК. Протеотексические эффекты гипертермии и блок экспрессии генов (за исключением генов теплового шока) в первые часы после прогрева нарушают работу этой системы, в связи с чем последующее облучение приводит к фатальному повреждению клеточной ДНК и, как следствие – к гибели клетки.

ДИСУЛЬФИДЫ ГЛУТАТИОНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ЛЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ И ХИМИЛУЧЕВЫХ МУКОЗИТОВ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ОРОФАРИНГЕАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Ярцева¹, А. Г. Климов¹, А. А. Антушевич¹, А. Н. Гребенюк²

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

² ООО «Специальная и Медицинская Техника», Санкт-Петербург, Россия

antu-anna@yandex.ru

Одним из наиболее частых и ранних осложнений лучевой и химиолучевой терапии опухолей у больных раком головы и шеи являются тяжелые оральные мукозиты, частота развития которых достигает 70% и более. Существующие средства местного и системного лечения недостаточно эффективны, что требует разработки новых лекарственных препаратов и обуславливает актуальность настоящей работы.

Целью исследования явилось экспериментально-клиническое обоснование возможности применения дисульфидов глутатиона в качестве средств лечения оральных мукозитов у больных раком орофарингеальной области.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на самцах белых беспородных крыс, белых беспородных мышей и мышей линии BALB/c. Клинические исследования выполняли у больных плоскоклеточным раком орофарингеальной области III-IV стадии с признаками орального мукозита. Для комплексной терапии лучевого / химиолучевого мукозита использовали дисульфиды глутатиона: фармакологический аналог окисленного глутатиона – глутоксим, органическую соль дисульфида глутатиона и инозина – моликсан, литиевую соль дисульфида глутатиона и комплексного соединения палладия и меди – литан.

Результаты. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что курсовое применение препаратов дисульфидов глутатиона на протяжении 15 сут после комбинированного химиолучевого воздействия нормализует уровень антимикробных пептидов, а также способствует 2-3-кратному уменьшению частоты дисбактериоза слизистой оболочки полости рта и выраженности клинических проявлений орофарингеального синдрома, что позволяет сохранить жизнь всем животным опытной группы. В клинических исследованиях показано, что включение в схему комплексной терапии орального мукозита глутоксима и моликсана способствует улучшению стоматологического статуса, баланса про- и антиоксидантной активности, восстановлению содержания эффекторов врожденного иммунитета и нормализации микробиоценоза полости рта у больных раком орофарингеальной области. Обоснована возможность применения моликсана для лечения химиолучевого орального мукозита, осложненного герпесвирусной инфекцией (HSV-1). Показано, что использование глутоксима и моликсана в качестве средств сопровождения лучевой и химиолучевой терапии пациентов с раком орофарингеальной области позволяет снизить тяжесть орального мукозита с III-IV степени до I-II степени и провести запланированное противоопухолевое лечение в полном объеме при сохранении относительно высокого качества жизни пациентов.

Выводы. В ходе проведенных экспериментально-клинических исследований обоснована целесообразность применения препаратов дисульфидов глутатиона для повышения эффективности лечения орального мукозита и улучшения качества жизни у онкологических больных, подвергающихся лучевой и/или химиолучевой терапии.

СЕКЦИЯ № 5
РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

ЛЕЧЕБНОЕ ДЕЙСТВИЕ ИСКУССТВЕННО МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ

*Андреанова И.Е.¹, Ставракова Н.М.¹, Парфенова И.М.¹, Бычкова Т.М.^{1,2},
Никитенко О.В.^{1,2}, Караулова Т.А.¹, Иванов А.А.^{1,2}*

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

² ГНЦ РФ ИМБП РАН, Москва, Россия

a1931192@mail.ru

Качество питьевой воды оказывает существенное влияние на жизнедеятельность и здоровье человека в норме и при различных видах патологии. В области радиационной медицины знания о влиянии состава воды на радиорезистентность находятся в стадии накопления новых фактов.

Цель исследования – изучение лечебных свойств очищенной искусственно минерализованной питьевой воды при лучевом поражении.

Материалы и методы. Эксперименты выполнены на 170 аутбредных мышах самках ICR (CD-1), SPF-категории массой 27-30 г. Мыши подвергались тотальному облучению на рентгеновской установке РУСТ-М1: напряжение 200 кВ, ток пучка 2,5 мА, фильтр алюминиевый 1,5 мм. Мощность дозы в контейнере 0,85 Гр/мин $\pm$ 10%. Доза однократного кратковременного облучения составляла 6,5 Гр. Фракционированное облучение проводилось ежедневно в течение 4-х дней по 2,2 Гр и 2,3 Гр. Суммарные дозы составили 8,8 Гр и 9,2 Гр. В качестве модифицирующих средств использовали дистиллированную воду (ДВ), искусственно минерализованную путем добавления природной минеральной воды Donat Mg (ДВД) или «Ессентуки 17» (ДВЕ), близкие по общей минерализации, в разведении 1:30. Указанные образцы мыши получали в виде питьевой воды с 1-х по 30-е сут после облучения, контрольные пили водопроводную воду (ВВ). Противолучевую эффективность оценивали по тесту 30-суточной выживаемости, динамике массы тела, количеству выпиваемой жидкости, средней продолжительности жизни павших. Статистическая обработка проведена с помощью критериев Стьюдента и χ^2 .

Результаты. Установлено, что однократное облучение в дозе 6,5 Гр вызывает развитие тяжелой костномозговой формы лучевого поражения, в результате которой из 75 мышей контрольной группы (ВВ) выжило 22 (29%). Прием с 1-х сут после облучения искусственно минерализованной воды ДВД обеспечил статистически значимое увеличение выживаемости животных до 48,6 % (из 37 выжило 18; $p=0,05$, критерий χ^2). При фракционированном облучении в суммарных дозах 8,8-9,2 Гр (СД₃₀) прием ДВД или ДВЕ с 1-х сут после последней фракции также способствовал облегчению течения ОЛБ. В опытных группах выжило 28 особей из 31 (90 %), в контрольных - 14 из 20 (70 %). Позитивное действие очищенной воды подтверждается воспроизводимостью результатов по выживаемости и более высокими значениями массы и выпиваемой жидкости относительно контрольных животных.

Вывод. Длительный прием дистиллированной воды, искусственно обогащенной минералами, после облучения снижает тяжесть радиобиологических эффектов у мышей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ И ГИПОГРАВИТАЦИИ, МОДЕЛИРУЕМЫХ В НАЗЕМНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ, НА ФУНКЦИИ ЦНС ОБЕЗЬЯН MASACA MULATTA

А. Г. Беляева, А. С. Штемберг

ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

yasya_bi@mail.ru

Для получения экспериментальных данных, на основании которых можно судить о возможных нарушениях операторской деятельности, необходимо моделирование в наземных экспериментах базовых элементов операторской деятельности, которые наиболее подвержены риску нарушений во время космических полетов. Наиболее информативными такие эксперименты могли бы стать при исследовании комбинированного воздействия различных видов облучения в сочетании с нагрузочными тестами, имитирующими влияние невесомости.

Целью данного исследования является анализ динамики влияния трех видов ионизирующих излучений в сочетании с семидневной антиортостатической гипокинезией (АНОГ) на когнитивные процессы у *Masaca mulatta*.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на 6-ти самцах макаков-резусов (*Masaca mulatta*) в возрасте 4 лет, массой 5-6 кг: 3 экспериментальных и 3 контрольных животных. Предварительно, в течение 6 мес. животных обучали на автоматизированной компьютерной установке. Установка для исследования высшей нервной деятельности (ВНД) приматов состояла из компьютерного блока, монитора, программно-управляемой кормушки для пищевого подкрепления, джойстика, набора игровых тестовых программ.

Облучение проводилось гамма-лучами, ионами ^{12}C и ^{84}Kr в следующей последовательности: АНОГ в течение 7 суток + суточное гамма-облучение на 6-й день антиортостатической гипокинезии, на 2-й день после АНОГ - однократное облучение головы животных ионами ^{12}C с энергией 420 МэВ в дозе 1Гр на ускорителе У-70 (Протвино), через месяц - однократное облучение головы животных ионами ^{84}Kr с энергией 2,3 ГэВ/н (нуклотрон, Дубна). Поглощенная доза, усредненная по всему мозгу обезьян, при облучении криптоном, примерно 0,15 Гр

Результаты. 1. В результате комбинированного действия АНОГ+гамма-облучения выявлено резкое достоверное снижение игровой активности с сохранением уровня правильных реакций у обезьяны тормозного уравновешенного типа.

2. Резкое повышение игровой активности при невысоком проценте правильных реакций у обезьяны возбудимого типа в результате комбинированного действия АНОГ+гамма-облучение.

3. Стабильное достоверное повышение процента успешных решений задач у обезьяны сильного уравновешенного типа ВНД, подвергшейся комбинированному воздействию АНОГ+гамма-облучение+ ^{12}C + ^{84}Kr

Выводы. 1. Типологические особенности ВНД обезьян играют определяющую роль в характере интегративных нейробиологических нарушений в результате комбинированного действия ионизирующих излучений и гипогравитации, моделируемых в наземном эксперименте. 2. Наблюдаемые нарушения связаны с нарушением не столько когнитивных функций, сколько эмоционально-мотивационной сферы, что подтверждается показателями дальнейшего успешного освоения игровых программ в привычных условиях содержания. 3. Полученные данные свидетельствуют о необходимости использования индивидуальных критериев, связанных с особенностями типов ВНД при отборе космонавтов для длительных полетов.

КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ – ЗДОРОВЬЕ И РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ

Иванов А.А.^{1,2,3}

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

² ГНЦ РФ ИМБП РАН, Москва, Россия

³ ОИЯИ, Дубна, Россия

a1931192@mail.ru

В результате анализа литературных и собственных данных установлено, что от качества питьевой воды, потребляемой экспериментальными животными, зависит продолжительность жизни, динамика массы тела, состояние иммуно и гемопоэза, развитие катарактогенеза, поведенческие реакции, сила поперечно-полосатой мускулатуры.

Показано, что предварительное до острого облучения содержание животных на воде высокого качества стимулирует накопление массы тела и процесс кроветворения, что в свою очередь обуславливает повышение радиочувствительности. Напротив торможение метаболических процессов до облучения, в частности, с помощью содержания на тяжелой воде, с высоким содержанием дейтерия и кислорода ¹⁸O приводит к повышению радиорезистентности.

Перевод животных сразу после острого и фракционированного, рентгеновского и γ -облучения в среднелетальной дозе на питьевую воду высокого качества: легкоизотопную и высокоочищенную – искусственно минерализованную, уникальную природную воду обуславливает отчетливый лечебный эффект: повышение выживаемости, сохранность массы тела и ускоренное восстановление кроветворения. Аналогичный лечебный эффект получен при использовании дистиллированной воды с пониженным окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП). Умеренное снижение ОВП достигалось путем внесения в неё водорастворимого меланина.

Длительное, в течение всей жизни содержание мышей на дистиллированной воде обеспечило им увеличение средней продолжительности жизни, замедление катарактогенеза, сохранность массы тела и др. по сравнению с животными, получавшими муниципальную водопроводную воду. Особенно ярко позитивный эффект дистиллированной воды проявлялся в группе животных, облученных в первой половине жизни в течение длительного времени фракционно (еженедельно по 50 мГр) в суммарной дозе 1.65 Гр.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что качество питьевой воды является важным фактором, обуславливающим радиорезистентность как при остром, фракционированном, так и хроническом облучении. Указанное обстоятельство следует учитывать как в острых радиобиологических экспериментах и при лучевой терапии, так и при анализе результатов радиационно-эпидемиологических исследований.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ И ИММОБИЛИЗАЦИОННОГО СТРЕССА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕРДЦА И ПОВЕДЕНЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КРЫС

Е.М. Кадукова, М.А. Бакишьева

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

helena.kad@mail.ru

Цель – изучить эффекты электромагнитного излучения (ЭМИ) промышленной частоты (50 Гц, 0,4 мТ, 4 часа/день, 22 дня) и иммобилизационного стресса (по 4 часа в течение 7 дней) изолированно и сочетано на ряд физиологических показателей у крыс линии Wistar: поведенческие реакции в тесте «Открытое поле» (ОП) и показатели работы изолированного сердца.

Материалы и методы. Эксперимент был проведен на крысах-самках (возраст 6 мес.) массой 235–250 г. Эмоциональную реактивность, двигательную и исследовательскую активность животных изучали в тесте ОП в течение 5 минут. Вычисляли интегральные уровни тревожности и исследовательской активности (Бессалова, 2011). При функционировании препарата изолированного сердца записывали в период до и после нормотермической тотальной ишемии параметры: частоту сердечных сокращений; максимальное систолическое давление в левом желудочке; максимальную скорость нарастания внутрижелудочкового давления; максимальную скорость падения внутрижелудочкового давления; объемную скорость коронарного потока.

Результаты. Установлено, что уровень тревожности (интегральный) у крыс в группах «Стресс» и «ЭМИ» превышал уровень контроля на 31,7% и 12,7% соответственно, однако в группе сочетанного воздействия двух факторов не было отмечено их взаимного потенцирующего эффекта. В условиях изоволюмического режима работы изолированного сердца основными показателями силы сокращений и его энергорасхода являются: развиваемое давление и показатель интенсивности сократительной функции, который прямо пропорционален величине потребления кислорода сердечной мышцей. Данные показатели инотропной функции миокарда в период перфузии (до ишемии) характеризуются тенденцией к их повышению для изолированного сердца из групп животных, подвергнутых иммобилизационному стрессу, в постишемическом периоде – достоверным увеличением. В группе животных, подвергнутых иммобилизации, индекс расслабления миокарда оставался на уровне контроля, что может отражать компенсацию положительного инотропного эффекта адекватным процессом расслабления. После воздействия ЭМИ – индекс расслабления был достоверно снижен как до, так и в постишемическом периоде. ЭМИ и иммобилизационный стресс оказывают разнонаправленные негативные эффекты на миокард: воздействие ЭМИ сказывается на функции расслабления, а иммобилизация отражается на сократительной функции. Сочетанное влияние указанных факторов не приводило к достоверным отличиям в функционировании препаратов изолированного сердца.

Выводы. Воздействие ЭМИ (50 Гц, 0,4 мТ) и иммобилизационного стресса вызывает увеличение уровня тревожности у крыс в тесте «Открытое поле». Иммобилизационный стресс и ЭМИ, а также сочетанное воздействие этих факторов приводит к нарушениям инотропной функции миокарда.

ЭМИ в условиях предложенной модели воздействий снижает индекс расслабления миокарда. Иммобилизационный стресс повышает интенсивность сократительной функции миокарда и развиваемое сердечной мышцей давление.

ОТСТАВЛЕННОЕ ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ И ИОНОВ УГЛЕРОДА ^{12}C НА ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭЭГ И НЕЙРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ КРЫС

Лебедева-Георгиевская К. Б., Базян А. С., Кудрин С. В., Митрофанова О. В.

ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

kseniaGB@gmail.com

При осуществлении межпланетных космических полетов на организм человека воздействует целый ряд физических факторов, наиболее критичным из которых является влияние ионизирующих излучений на функциональные реакции центральной нервной системы (ЦНС). При этом важно оценивать как эффекты длительного воздействия этих излучений, которые можно моделировать с использованием гамма-источников, так и специфику эффектов галактических космических лучей (ГКЛ), одним из компонентов которого являются ионы углерода ^{12}C . Для количественной оценки общих принципов работы головного мозга можно использовать электроэнцефалограмму (ЭЭГ) совместно с анализом нейрохимических процессов, что может продемонстрировать различные изменения в работе ЦНС, возникающие после облучения.

Цель данного исследования заключалась в оценке отставленных эффектов комбинированного гамма-облучения и облучения ионами ^{12}C на электрофизиологические и нейрохимические процессы в ЦНС.

Материалы и методы. Крысы линии Long Evans были подвергнуты квазихроническому гамма-облучению в течение недели в суммарной дозе 1 Гр (источник ^{60}Co , мощность дозы 2.34 сГр/ч) и затем облучению головы ионами углерода ^{12}C с энергией 420 МэВ в дозе 1 Гр на ускорителе У-70 на базе Института физики высоких энергий (Протвино).

Крысам была проведена суммарная запись ЭЭГ в свободном поведении спустя пять месяцев после воздействия. Electrodes располагались в префронтальной коре. Исходя из полученных записей, были построены спектры мощности и амплитуды. Был произведен анализ средних амплитуд и частот в рамках дельта (1-4 Гц), тета (5-7 Гц) и альфа (8-12 Гц) ритмов.

Анализ нейрохимических показателей работы головного мозга (концентрации моноаминов и их метаболитов) проводили с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с электрохимической детекцией (ВЭЖХ/ЭД). Для нейрохимического анализа были выбраны структуры: префронтальная кора, гипоталамус, прилежащее ядро и таламус.

Результаты. Исходя из проведенного анализа ЭЭГ, наблюдается тенденция к уменьшению частот и амплитуд первого пика у облученных крыс по сравнению с контрольными животными. Происходит снижение частот и амплитуд в области дельта ритма в префронтальной коре у облученных животных. Анализ нейрохимических изменений демонстрирует снижение концентраций моноаминов в ряде структур, в том числе в таламусе и префронтальной коре.

Выводы. Таким образом, нами были показаны изменения в электрической активности префронтальной коры спустя 5 месяцев после комбинированного облучения и, возможно, связанные с ними изменения в моноаминергической системе головного мозга крыс.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КРЫС С РАЗЛИЧНЫМИ
ТИПОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
АНТИОРТОСТАТИЧЕСКОГО ВЫВЕШИВАНИЯ И ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ ^{12}C**

А.А. Перевезенцев, А.С. Штемберг

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

perezx@me.com

Воздействие галактических космических лучей, представленных преимущественно тяжелыми ионами с энергией в сотни МэВ, является одним из важнейших факторов дальних космических полетов. Ввиду невозможности технической защиты от таких излучений особую важность имеет вопрос индивидуальной радиорезистентности.

Цель данного исследования состоит в изучении поведенческих различий между лабораторными крысами с разными типами высшей нервной деятельности (ВНД) – возбудимыми и тормозными – в нормальных условиях и после воздействия ионизирующих излучений и антиортостатического вывешивания (АНОВ), моделирующих эффекты некоторых факторов космического полета.

Материалы и методы. В исследовании использовано порядка 150 молодых крыс линии LongEvans. По методике П.В. Симонова («камера Симонова») были отобраны по 16 преимущественно возбудимых и тормозных крыс, разделенных далее на контрольные и опытные группы: А – возбудимые, Е – тормозные, С – контроль усредненный, К – контроль возбудимые. Животные групп А и Е были подвергнуты следующим воздействиям: 0.7 Гр облучения ионами ^{12}C с энергией 450 МэВ/н, затем 7-дневное АНОВ, сочетаемое с общим гамма-облучением в дозе 1 Гр. Далее на протяжении 5 месяцев проводились поведенческие тесты по методикам «Открытого поля» (ОП), «Условного рефлекса активного избегания» (УРАИ), «Водного лабиринта Морриса» (ВЛМ) и «Приподнятого крестообразного лабиринта» (ПКЛ).

Результаты. Наиболее значимую разницу между группами показал тест УРАИ. В ходе первоначального 4-дневного обучения крысы группы А обучались быстрее и делали больше правильных переходов, чем остальные; далее расположились группы К, С и Е соответственно. При повторении теста через 30, 60 и 90 дней обнаружилось, что группы А и К утрачивают ранее выработанный рефлекс, тогда как группа Е продолжила планомерно обучаться и в итоге превзошла показатели группы А. Особо следует отметить, что экспериментальные крысы превзошли контрольных той же группы. В тестах ОП и ВЛМ существенных различий между группами не наблюдалось, все крысы выполняли тест весьма успешно. Тест ПКЛ подтвердил эффективность методики разделения животных в камере Симонова – группы А и К продемонстрировали более высокий уровень нервной активности. К концу тестирования животным исполнилось 7-8 месяцев и крысы из группы А статистически достоверно набрали больший вес, чем группа Е; также контрольные крысы весили больше экспериментальных.

Выводы. У возбудимых животных, исходно обладающих более высокой пластичностью нервных процессов, наблюдаются более существенные нарушения в начальном периоде после данных воздействий, нежели у тормозных; в отдаленный период последние показывают лучшие результаты в тестах, связанных с обучением и памятью. В то же время не наблюдается зависимости между типологическими особенностями ВНД животных и обучаемостью в тестах, связанных с пространственной ориентацией.

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАНИЯ СТРЕССА И ОБЛУЧЕНИЯ НА РЕШЕНИЕ МЫШАМИ КОГНИТИВНОГО ТЕСТА

*Перепелкина О.В.¹, Полетаева И.И.¹, Огиенко Н.А.¹, Кошлань И.В.³,
Павлова Г.В.², Ревущин А.В.²*

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Институт биологии гена РАН, Москва, Россия

³ ОИЯИ, Дубна, Россия

ingapoletaeva@mail.ru

Ранее было показано, что облучение мышей протонами вызвало специфические изменения в решении ими когнитивного теста на «неисчезаемость», в частности по сравнению с группой sham-irradiation. Это могло быть связано со стрессующим влиянием процедуры.

Цель работы – оценить дополнительное влияние на решение этого теста стресса «иммобилизации» (после облучения протонами).

Материалы и методы. Работа проведена на 16 мышах F1 (СВА х С57BL/6), доза облучения головы ускоренными протонами в расширенном пике Брэгга – 4 Gy, 150 МэВ. Облучение проводили на фазотроне Медико-технического комплекса Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Тест на «поиск входа в укрытие» проводили через 2 недели после облучения с оценкой латентности (ЛП) решения и доли животных, решивших 4 пробы теста. Стресс «иммобилизации» проводили помещением мышей на 2 часа в пластиковые пробирки (диам. 2.8. см). Представлены данные 1- и 2-факторного ANOVA (факторы «облучение» и «стресс»). с post hoc LSD анализом по Фишеру.

Результаты. На ЛП решения 1-й, самой простой пробы влиял только фактор «стресс» ($F_{1-15} = 17.4$, $p < 0.01$), с более короткими ЛП у мышей после иммобилизации, т.е. состояние стресса способствовало решению. Такое же влияние стресса было выявлено в решении мышами двух (из трех) сложных, «когнитивных» проб теста. Другая оценка (фактор «облучение») показала, что мыши после облучения быстрее решали «когнитивные» пробы, чем sham-irradiation и интактная группы. Показано, что иммобилизационный стресс провоцирует экспрессию БТШ-70, а облучение протонами модулирует у них уровень нейрогенеза взрослого мозга.

Заключение. Экспериментальные манипуляции с животными следует контролировать в аспекте общих изменений организма в ходе эксперимента и оценивать эффекты радиации с учетом и этих факторов.

Поддержано грантом ОФИ № 17-29-01001 и Госпрограммой N1 ОКР ААА-А16-1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ ПОЛОВОЗРЕЛЫХ КРЫС ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ЛПЭ

Ю.С. Северюхин¹

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
yucucumber@mail.ru

Головной мозг человека может быть подвержен воздействию протонов в результате медицинского облучения, а так же в ходе пилотируемой космической миссии. Несмотря на большое количество исследований в данной области, проблема оценки поведенческих реакций и морфологических изменений в ЦНС после воздействия ядер ^1H остается открытой в виду отсутствия очевидной связи между структурными и функциональными нарушениями. Проведенные исследования существенно различаются по типу используемого ионизирующего излучения, срокам в которые происходит оценка того или иного эффекта, фракционированию, пространственному дозовому распределению, животным моделям.

Цель данного исследования состоит в изучении поведенческих реакций и морфологических изменений в головном мозге половозрелых крыс после воздействия протонами с энергией 170 МэВ и 70 МэВ.

Материалы и методы. Гамма-облучение ^{60}Co крыс линии SD (самки 15 недельного возраста) в дозе 1 Гр проводили на установке РОМУС-М МТК ОИЯИ. Облучение протонами с энергиями 170 и 70 МэВ в дозе 1 Гр проводили на фазотроне МТК ОИЯИ. Для оценки поведенческих реакций использовали тест-системы “Открытое поле” и Т-лабиринт”. Анализ морфологических изменений в различных отделах головного мозга проводили с использованием окрашивания крезилвиолетом по Нисслию, конго-красным и Fluoro Jade В. Гистометрический анализ структурных изменений нейронов проводили в программе ImageJ.

Результаты. При анализе поведенческих реакций в Т-лабиринте было выявлено, что воздействие ионизирующим излучением с различным ЛПЭ привело к увеличению актов повторного захода в рукава лабиринта в тесте спонтанного чередования. Анализ адаптации животных к установке Открытое поле показал, что в группе облученных животных (протоны 70 МэВ в пике Брэгга) происходит снижение общей двигательной активности. Снижение числа вертикальных стоек наблюдалось во всех группах облученных животных. При морфологическом анализе выявлено развитие раннего амилоидоза, аутолиз эпендимального слоя, увеличение числа нейродегенеративных изменений в различных структурах головного мозга и развитие гипертрофии нейронов на 30 сутки после облучения. При анализе числа Fluoro Jade В позитивных клеток наблюдалась обратная от ЛПЭ зависимость.

Выводы. Воздействие протонами в дозе 1 Гр приводит к развитию структурных и функциональных нарушений ЦНС животных на 30 сутки после облучения. Полученные данные свидетельствуют о нарушении кратковременной памяти, снижению двигательной активности и исследовательского поведения животных. С увеличением ЛПЭ происходит увеличение числа амилоидных бляшек в переднем мозге крыс, аутолиз эпендимального слоя желудочков, развитие дегенеративных изменений. В то же время облучение в сравнительно малых дозах, по-видимому, может приводить к развитию адаптивной реакции на ишемию головного мозга.

ЭФФЕКТЫ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА КОГНИТИВНУЮ ГИБКОСТЬ МЫШЕЙ

*А.Е. Солдатова^{1,2,7}, О.Н. Долгов³, О.А. Минеева^{2,4}, М.Ю. Копаева³, М.В. Галкин⁵,
Н.А. Фильченкова⁵, Г.Н. Ениколопов^{1,6}, А.А. Лазуткин^{2,4,6,7}*

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

⁴ Институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина, Москва, Россия

⁵ НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н.Бурденко, Москва, Россия

⁶ Центр генетики развития и отдел анестезиологии, Университет Стони Брук, Стони Брук, Нью-Йорк, США

⁷ Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия
nastya_soldatova177@mail.ru

Радиационное облучение головы является основной терапевтической стратегией для лечения первичных и метастатических опухолей головного мозга. Несмотря на эффективность такого лечения, радиация оказывает выраженное нейротоксическое воздействие на мозг. Наиболее выраженными побочными эффектами краниального облучения являются когнитивные нарушения, в частности, ухудшение памяти и снижение способности к решению новых проблем, или т.н. когнитивной гибкости. Вопрос о генезе нейрокогнитивных последствий радиационного облучения головного мозга до сих пор остается открытым, однако, в настоящий момент его все чаще связывают с морфологическими изменениями в гиппокампе. В частности, из-за постоянного образования в этой структуре новых нейронов.

Нами была разработана новая поведенческая модель на основе системы автоматизированного мониторинга поведения IntelliCage (IC), позволяющая оценивать скорость адаптации к новым условиям содержания и когнитивную гибкость животных в задаче, когда новая память интерферирует со старой, а также динамику угашения выработанных навыков.

Работа была проведена на самцах мышей линии C57Bl/6 в возрасте 2-2.5 мес на момент начала эксперимента. Головы животных облучали 5Гр рентгеновского излучения на аппарате «Novalis» за 20 дней до начала тестирования. Ложнооблученные (ЛО) животные были подвержены тем же процедурам, кроме облучения. В течение 1-й недели мышей адаптировали к установке, затем, на 2-й и 3-й неделях, мышей обучали получать воду строго в питьевые часы сначала в одном углу (пространственное обучение, ПО), затем в противоположном (реверсивное обучение, РО). На 4-й неделе мышам давали подкрепление в разных углах в случайном порядке (угашение).

Многоаспектный анализ позволил выявить различия в суточной и исследовательской активности у 0 Гр и 5 Гр животных. Анализ кривых динамики обучения во время этапов (ПО и РО) не выявил различий между облученными и ЛО животными: обе группы успешно справлялись с предложенными задачами с одинаковой скоростью. Однако была обнаружена задержка в переключении стратегий поиска воды при случайном подкреплении у облученных животных. Различия в суточной активности контрольных и облученных животных показаны впервые и требуют большего изучения.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 17-29-01037 и РНФ 17-15-01426.

МАЛЫЕ И БОЛЬШИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ НЕЙРОМОРФОЛОГИИ

В.П. Федоров², И.Б. Ушаков¹

¹Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

²Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
iushakov@fmbcfmba.ru

Целью аналитико-экспериментального исследования являлась оценка современного состояния и актуальных направлений радиационной нейроморфологии. В качестве паттернов **материалов** использовались данные хронического эксперимента на 700 половозрелых крысах-самцах (дозы гамма-облучения 10-100 сГр), а также клинко-физиологические данные облученных летчиков-ликвидаторов (более 1000 человек). **Методы** представлены в 5 монографиях и 15 журнальных статьях.

Результаты анализа психоневрологического статуса ликвидаторов радиационных аварий, свидетельствуют, что нейропсихические заболевания даже при малых дозах облучения являются ведущей причиной инвалидизации. Однако исследователи, уделяя важное внимание вероятным изменениям на генном и молекулярном уровнях не могут пока решить вопрос о наличии и локализации органических изменений в мозге при малых дозах. Изучение радиационной патологии у человека в эксперименте в принципе невозможно, а имеющиеся случаи его переоблучения отягощаются течением лучевой болезни, медицинскими манипуляциями и т.п., что изменяет нейроморфологическую картину. В связи с этим исследования проводят на животных, когда можно исключить все посторонние влияния, оставив лишь радиационный фактор и использовать методики, неприемлемые для человека. Наиболее часто используемый для этого головной мозг крысы сам недостаточно изучен, особенно в возрастном плане, что необходимо для оценки изменений в отдаленном пострадиационном периоде. Кроме того, большинство исследователей не учитывает значительный полиморфизм нейронов, связанный с конкретным отделом мозга и функциональным состоянием нейронов. Нейроморфологические работы весьма трудоемки, избыточно детализированы и, нося описательный характер, часто мало что объясняют для физиологов и клиницистов. Нужна функциональная оценка выявляемых эффектов с позиции: вредно, полезно, безразлично, обратимо, есть или нет нарушение функции. Однако единой классификации изменений нервных и глиальных клеток до сих пор нет и результаты, приводимые разными авторами трудно сопоставимы. С оптимизацией Института Мозга нейроморфологи потеряли площадку для обсуждения результатов своих исследований, все меньше таких работ представляется и на научные форумы.

Выводы. Констатируется стагнация радиационной нейроморфологии. В немногочисленных публикациях не всегда приводятся обоснования выбора дозовременных параметров облучения. Выявляемые изменения в головном мозге при малых дозах носят обратимый характер или находятся в состоянии, когда «уже не норма, но еще и не патология». Необходимо детальнее оценить слабо выраженные радиационно-индуцированные патологические изменения в головном мозге. Космическая радиобиология – удачная научная сфера для нейроморфологов.

ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОПЕРАТОРСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА НА МОДЕЛИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ОБЕЗЬЯН

И. Д. Шамсиев^{1,2}, И.В. Бондарь¹, Л.Н.Васильева¹, Л.В.Терещенко², А.В. Латанов²

¹ Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия

² МГУ им М. В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия

ildarshamsiev.al@gmail.com

При долговременных космических полетах необходимо учитывать негативные радиационные воздействия на организм человека галактических космических лучей, состоящих в основном из высокоэнергетических протонов. Необходимы модельные эксперименты, которые бы позволили оценить их эффект на когнитивные способности, в частности, на операторскую деятельность астронавтов. Низшие приматы являются удобной и адекватной моделью для исследований такого рода, так как обладают гомологичными человеческим нейронными системами, управляющими совместными движениями глаз и рук, которые являются ключевыми для операторской деятельности.

Целью данной работы было создание и апробация воспроизводимого протокола проведения модельных экспериментов по изучению влияния облучения протонами высоких энергий на инструментальное поведение обезьян.

Материалы и методы. Эксперименты проводили на двух обезьянах *Macaca mulatta*. Мы разработали многоразовый неинвазивный анатомически адаптированный метод фиксации головы с помощью напечатанного на 3D принтере «шлема» из двух частей, точно повторяющих контуры головы животного, полученные по результатам компьютерной томографии (КТ).

Зрительные стимулы в виде квадратов предъявляли на экране компьютера, расположенного на расстоянии 51 см от глаз животного. Обезьян обучали глазодвигательной задаче, включающей выполнение зрительно вызванных саккад к стимулам, предъявляемым в широком участке поля зрения животного, и мануальных инструментальных реакций, ипсилатеральных по отношению к стимулу, для получения подкрепления. Движения глаз регистрировали видеокамерой FastVideo-250 (НПО «Астек», Россия) с частотой оцифровки 200 или 500 Гц с последующим анализом траекторий и латентных периодов саккад.

Однократное облучение протонами (170 МэВ, 3 Гр, экспозиция 5 мин.) производилось по технологии трехмерной конформной лучевой терапии на базе Медико-технического комплекса ЛЯП ОИЯИ (г. Дубна, Московской обл.). У одной обезьяны произведено селективное облучение теменной коры, у другой – всего мозга.

Результаты. Разработан неинвазивный анатомически адаптированный способ фиксации головы животного, критически необходимый для точной регистрации движений глаз. Успешно проведено обучение, а также подготовка и облучение животных протонами. Анализ треков движений глаз позволил воссоздать карту расположения периферических стимулов и рассчитать латентные периоды зрительно вызванных саккад, адекватных выполнению выученной глазодвигательной задачи.

Выводы. По результатам работы разработаны технические средства и апробирован воспроизводимый экспериментальный протокол для изучения эффектов облучения протонами высоких энергий на показатели зрительно-моторного поведения низших приматов, имитирующего ключевые компоненты операторской деятельности человека. Разработанная технология успешно используется в исследованиях радиационных эффектов на поведение низших приматов и обеспечивает получение воспроизводимых качественных данных.

Выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-29-01027 офи_м).

РАДИАЦИОННАЯ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ, ПРОБЛЕМАТИКА, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Штемберг А.С.

ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия
andrei_shtemberg@mail.ru

Первые работы, появившиеся на заре возникновения радиобиологии, относятся к радиационной нейрофизиологии. Уже в 1896 г., вскоре после открытия рентгеновских лучей, появилось сообщение И.Р.Тарханова об угнетающем действии рентгеновского излучения на спинномозговые рефлексy. Эти исследования были продолжены М.О.Жуковским, Е.С.Лондоном и др., обнаружившими изменения функций ЦНС у облученных животных, а также П.С.Купаловым и М.И.Неменовым с сотрудниками в связи с проблемами рентгенорадиотерапии. В 1930 г. наступил окончательный перелом во взглядах на радиочувствительность ЦНС: в работах М.И.Неменова, П.С.Купалова и др. было показано, что воздействие ионизирующих излучений вызывает существенные изменения функций коры больших полушарий головного мозга.

Основная проблематика радиационной нейрофизиологии связана с исследованием соотношения радиочувствительности и радиорезистентности ЦНС, ее функциональных реакций при облучении в диапазонах малых, сублетальных и летальных и сверхлетальных доз, специфики нейробиологических эффектов различных видов ионизирующих излучений с учетом факторов временной и пространственной неравномерности. Нейробиологические эффекты ионизирующих излучений исследуются на всех уровнях организации ЦНС – от молекулярного до интегративного (поведение животных). Отдельная проблема – изучение эффектов комбинированного действия радиационных и нерадиационных факторов на ЦНС и оценка их взаимного модифицирующего влияния.

Основные практически важные направления радиационной нейрофизиологии связаны с перспективами развития протонной и адронной терапии опухолей головного мозга, оценки эргономического риска в межпланетных космических полетах, а также риска нарушений операторской деятельности в других ситуациях, связанных с опасностью воздействия ионизирующих излучений (радиационных авариях и др.). Первые два направления предполагают углубленные исследования специфики нейробиологических эффектов тяжелых ионов на всех уровнях организации ЦНС. В частности, в открытом космосе основную опасность представляют галактические космические лучи (ГКЛ) – протоны высоких энергий и тяжелые ионы, обладающие энергиями в широком диапазоне, вплоть до сверхвысоких энергий порядка 10^{20} МэВ. Продемонстрированы эффекты тяжелых ионов (в основном ^{56}Fe), приводящие к существенным нарушениям гиппокамп-зависимых форм поведения – пространственной памяти и ориентации, сопровождающихся нарушениями в нейромедиаторных системах мозга даже при облучении в очень малых дозах (0,1-0,2 Гр). Изучены нарушения поведения животных (крыс и обезьян) и изменения в монаминергических системах ключевых структур мозга при облучении их высокоэнергетическими протонами и ионами углерода ^{12}C .

Рассматривается основная проблематика исследований в этом направлении и стратегия проведения таких экспериментальных исследований, заключающаяся в моделировании длительности воздействия радиации с помощью гамма-излучателей и воздействия тяжелых ионов, воспроизводимых на ускорителях заряженных частиц, алгоритмы и методы таких исследований.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОСТАВ И ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА РЕТИНОИДОВ СЕТЧАТКИ И РЕТИНАЛЬНОГО ПИГМЕНТНОГО ЭПИТЕЛИЯ ГЛАЗА МЫШИ

*М. А. Яковлева¹, К. Н. Ляхова,² Д. М. Утина², Ю. В. Виноградова²,
И. А. Колесникова², Т. Б. Фельдман^{1,3}, М. А. Островский^{1,2,3}*

¹Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

²Лаборатория радиационной биологии ОИЯИ, г. Дубна, Россия

³Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

lina.invers@gmail.com

Моделирование действия космических видов радиации на структуры мозга и глаза, а также моделирование неблагоприятных последствий радиационной терапии опухолей мозга и глаза, являются актуальными направлениями современной радиобиологии. В этой связи сравнительное исследование воздействия различных видов излучений на сетчатку и ретинальный пигментный эпителий (РПЭ) глаза представляется важным для оценки рисков как от космического излучения, так и лучевой терапии. Одновременно, сетчатка и РПЭ глаза могут рассматриваться в качестве удобной модели для изучения последствий действия различных видов радиации на организм в целом.

Цель данного исследования состоит в сравнительном исследовании эффективности действия протонов и гамма-излучения на состав и флуоресцентные свойства ретиноидов – продуктов превращения ретиналя, содержащихся в сетчатке и РПЭ глаза.

Материалы и методы. Для оценки эффективности действия протонов и гамма-излучения животные тотально были подвержены радиационному облучению в дозах 1–4 Гр. Облучение ускоренными протонами проводили на медицинском пучке фазотрона ОИЯИ (г. Дубна). Средняя энергия протонов составляла 170 МэВ. Облучение животных гамма-квантами (Кобальт-60) проводили на установке Рокус-М (ОИЯИ, Дубна) с мощностью дозы 0,5 Гр/мин. Через сутки после облучения производили забой животных методом цервикальной дислокации с последующим изъятием глаз, из которых затем извлекали отдельно сетчатку и РПЭ. Экстракты флуорофоров (ретиноидов) из сетчатки и РПЭ получали по методу Фолча смесью хлороформ–метанол (1:1), затем регистрировали их спектры флуоресценции. Анализ ретиноидов проводили методом ВЭЖХ. Эффективность действия протонов и гамма-излучения определяли как степень изменения относительного содержания отдельных окисленных и неокисленных ретиноидов или их групп в зависимости от дозы облучения.

Результаты. Показано, что при действии как протонов, так и гамма-излучения наблюдается сдвиг в коротковолновую область максимумов спектров флуоресценции ретиноидов, полученных из сетчатки и РПЭ. Такой сдвиг может свидетельствовать об окислении ретиноидов, вызванном действием ионизирующего излучения. Степень их окисления зависит от вида излучения. После облучения мышей ускоренными протонами интенсивность флуоресценции, особенно в коротковолновой области спектра ($\lambda < 550$ нм), увеличивается заметно больше, чем после гамма-облучения. Относительное содержание ретиноидов и их производных в хлороформных экстрактах сетчатки и РПЭ в зависимости от дозы ионизирующего излучения при облучении протонами меняется также в гораздо большей степени, чем при гамма-облучении.

Выводы. Полученные результаты указывают на то, что при облучении мышей в равных дозах ускоренными протонами и гамма-излучением эффективность действия ускоренных протонов на сетчатку и РПЭ выше, чем гамма-облучения.

СЕКЦИЯ № 6

РАДИАЦИОННАЯ ИММУНОЛОГИЯ И ГЕМАТОЛОГИЯ

МЕХАНИЗМЫ ОТДАЛЁННЫХ ПОСТРАДАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ИММУНИТЕТА

А. А. Аклеев

Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия
andrey.akleev@yandex.ru

К настоящему времени убедительно установлены такие дозозависимые эффекты хронического радиационного воздействия как: повышение частоты хромосомных aberrаций (ХА), мутаций в генах Т-клеточного рецептора (TCR-мутаций), интенсивности апоптоза, а также задержка клеточного цикла лимфоцитов периферической крови (ЛПК) человека, однако влияние этих эффектов на функциональное состояние иммунной системы остаётся малоизученным.

Целью работы явился комплексный анализ функционального состояния системного иммунитета у жителей прибрежных сёл реки Течи, подвергшихся сочетанному внешнему – гамма и внутреннему хроническому радиационному воздействию с преимущественным облучением красного костного мозга, у которых в отдалённые сроки регистрируется повышение частоты ХА обменного типа, TCR-мутаций, интенсивности апоптоза и G1/S-блока клеточного цикла ЛПК.

У облучённых лиц с повышенным уровнем ХА наблюдалось более низкое абсолютное количество $CD3^+CD4^+$ лимфоцитов, в то время как повышенное относительное число $CD19^+$ клеток в крови могло свидетельствовать о смещении иммунного ответа у них в сторону гуморального звена. В основной группе также отмечены более низкие показатели суммарной лизосомальной активности моноцитов относительно группы облучённых лиц с нормальным уровнем ХА.

В группе людей, имеющих повышенную долю TCR-мутантных лимфоцитов, отмечены более высокие показатели числа $CD3^+CD16^+56^+$ лимфоцитов в крови, лизосомальной активности нейтрофилов и интенсивности некроза ЛПК, более высокие уровни сывороточного интерлейкина-1 α и пониженное содержание гранулоцитарно-макрофагального колониестимулирующего фактора и интерлейкина-2 в сыворотке крови относительно группы людей с нормальным уровнем TCR-мутантных лимфоцитов.

У облучённых лиц, имеющих повышенную долю лимфоцитов с G1/S-блоком клеточного цикла, отмечено угнетение Т-звена адаптивного иммунитета, выраженная супрессия фагоцитарной активности моноцитов и пониженные уровни сывороточных интерлейкинов 2 и 6 в сравнении с облучёнными людьми, частота встречаемости лимфоцитов с блоком клеточного цикла у которых не превышала референтных величин. С другой стороны, в основной группе регистрировалось более высокое содержание иммуноглобулинов А и G в сыворотке крови, а также относительного количества моноцитов в крови.

Облучённые люди с повышенной интенсивностью апоптоза ЛПК в отдалённые сроки демонстрировали более высокую долю $CD95^+$ лимфоцитов, повышенные показатели спонтанного теста с нитросиним тетразолием нейтрофилов, более низкое абсолютное содержание нейтрофилов в крови и сывороточного интерферона γ .

Таким образом, отмеченные в отдалённые сроки изменения иммунитета у хронически облучённых людей обусловлены не столько апоптозом иммунокомпетентных клеток в этот период, сколько их сублетальными аномалиями (ХА и генными мутациями), а также нарушениями клеточного цикла, которые приводят в отдалённые сроки к сокращению функционального резерва иммунных клеток и могут иметь значение для развития канцерогенных эффектов ионизирующей радиации.

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО БЕНТОНИТА С ЦЕЛЮ КОНСТРУИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИКУМА ДЛЯ ИНДИКАЦИИ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКСИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Р.Р. Гайнуллин

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, г. Казань, Россия
gairuslan10@mail.ru

Поиск методов и средств повышения эффективности серологических реакций для индикации радиотоксических веществ в организме животных и животноводческой продукции представляет одну из актуальных задач радиоимунологии.

Целью настоящих исследований является повышение чувствительности иммунохимической реакции за счет получения и применения природного химического наноиммуносорбента при конструировании диагностического препарата.

Материалы и методы.

Экспериментальную часть работы, а именно получение и исследование наноразмерного бентонита проводили совместно с сотрудниками Физико-технического института РАН им. Завойского путем предварительного диспергирования бентопорошка («Бентонит Хакасии») в изопропиловом спирте марки ХЧ в соотношении 1 г бентонита на 200 мл изопропилового спирта и последующей обработкой с помощью ультразвукового генератора И-10-0,63 мощностью 630 Вт и частотой 22 кГц при комнатной температуре в течение 1,5 часов. После ультразвукового воздействия полученный раствор помещали в вакуумный сушильный шкаф UT-4660V и высушивали под вакуумом при температуре 80 °С в течение 8 часов. Структуру полученного наноразмерного бентонита изучали методом сканирующей микроскопии на электронном микроскопе «EVO 50 XVP» (Carl Zeiss) с системой зондового микроанализа «INCA Energy -350».

Результаты. Установлено, что структура наноразмерного бентонита представлена частицами трех различных размеров: мелкие образования с размером 21-26 нм, их доля превышала 48%, средние частицы имели размер 30-33 нм и около 13% частиц были величиной 94-97 нм. В структуре наноразмерного бентонита частицы имели форму расплюснутых бугорков с хаотичным их расположением. В тоже время было установлено, что при уменьшении размеров частиц минерала до 21-26 нм, полная физическая поверхностная площадь бентонита за счет физического ультразвукового воздействия увеличилась в 700-900 раз в сравнении с нативным образцом, что позволит увеличить чувствительность реакции бентонитовой флокуляции.

Выводы. Полученные результаты дают основание для проведения дальнейших исследований по конструированию бентонитового нанодиагностикума с использованием полученных наночастиц бентонита в реакции бентонитовой флокуляции (РБФ) путем адсорбции антигена или антител на наночастицах бентонита.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ АЛЬВЕОЛЯРНЫХ МАКРОФАГОВ У МЫШЕЙ ЛИНИИ A/f В УСЛОВИЯХ ОСТРОГО И ХРОНИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.М. Кадукова

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

helena.kad@mail.ru

Цель – изучить морфофункциональное состояние популяции альвеолярных макрофагов и процессы опухолеобразования в легких у мышей линии A/f после воздействия ионизирующего излучения в разных дозах, а также после экспозиции мышей на территории Полесского Государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), расположенного на территории 30-километровой зоны отчуждения ЧАЭС.

Материалы и методы. Оценено влияние острого γ -излучения в дозах 0,1; 0,35 и 1,0 Гр, а также экспозиции мышей в течение 1 и 4 месяцев в условиях действия экологических факторов зоны отчуждения ЧАЭС (мощность экспозиционной дозы в местах размещения животных на поверхности почвы составляла в среднем $3,29 \pm 0,10$ мкГр/ч) на выход аденом легких и морфофункциональное состояние популяции альвеолярных макрофагов (АМ) у мышей линии A/f. Процесс образования опухолей анализировали по среднему числу аденом на мышь. Макрофаги выделяли из легких, анестезированных тиопенталом натрия (1 мг/кг) животных. Оценка фагоцитарной активности АМ дана по величине фагоцитарного индекса (% фагоцитов в общем количестве макрофагов) и фагоцитарного числа, характеризующего поглотительную активность фагоцитов (количество частиц латекса/фагоцит), а также оценивалась способность макрофагов переваривать *Staphylococcus aureus*. Площадь клеток и их ядер исследовалась на фиксированных и окрашенных по Романовскому мазках с помощью программы обработки изображений Scion Image.

Результаты. Показано, что воздействие острого γ -излучения и действие комплекса экологических факторов зоны отчуждения ЧАЭС в течение 4 месяцев увеличивают выход опухолей легких у мышей линии A/f. В ранние сроки после облучения изменяются фагоцитарные показатели и морфологические характеристики альвеолярных макрофагов, что свидетельствует об изменении соотношения их фенотипов. При сравнении данных о процессах опухолеобразования в легких у мышей линии A/f через 4 месяца после воздействия однократного облучения в дозах 0,1; 0,35 и 1,0 Гр было установлено, что количество аденом на мышь увеличилось по сравнению с уровнем контроля в 2,82; 2,29 и 3,21 раза соответственно ($p < 0,05$). При исследовании морфофункциональных характеристик популяции АМ мышей линии A/f в ранние сроки после воздействия γ -излучения в дозах 0,1; 0,35 и 1,0 Гр показано, что, начиная с 7-х суток после облучения в дозе 1,0 Гр и на 15-е сутки – в более низких дозах в популяции клеток начинают преобладать макрофаги с фенотипическими признаками M2, которые имеют более низкую фагоцитарную активность по отношению к *Staphylococcus aureus* в лабораторных условиях. На 7-е сутки после радиационного воздействия средние значения площадей АМ превышали соответствующее значение контроля во всех группах облученных мышей. В популяции макрофагов после облучения в дозе 1,0 Гр отмечались средние и крупные клетки, а 30 % из них имели площадь более 450 мкм^2 (при средней площади макрофагов в соответствующем контроле $268,4 \pm 13,5 \text{ мкм}^2$), что свидетельствует о преобладании в популяции клеток проопухолевого фенотипа.

БИОЭФФЕКТЫ ОБЕДНЕННОГО УРАНА НА МУКОЗАЛЬНЫЙ ИММУНИТЕТ ТОЩЕЙ КИШКИ

Э.Ф. Кудеева

Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,

Воронеж, Россия

Elya.cudaewa@yandex.ru

Техногенное использование обедненного урана представляет значительную опасность для окружающей среды и здоровья человека, подтвержденную достаточным количеством сообщений. Его непрерывное окислением с оседанием в почве способствует дальнейшему попаданию оксидов обедненного урана во внутреннюю среду организма с водой.

Целью данного исследования является выявление особенностей хронодинамики мукозального иммунитета после однократного инкорпорирования обедненного урана.

Материалы и методы. В эксперименте задействовано 135 белых лабораторных крыс-самцов, из них – 27 контрольные. Крысы однократно вместо воды употребили водный раствор оксидов обедненного урана (ОУ) в дозе 0,01 мг на 100 г массы и спустя один, три и шесть месяцев от начала эксперимента было проведено исследование гистологического материала слизистой оболочки тощей кишки при окраске гематоксилином и альциановым синим.

Результаты. Установлено, что в состоянии нормы в слизистой оболочке тощей кишки присутствуют лимфоциты как в эпителии, так и в субэпителиальном слое – это кишечно-ассоциированная лимфоидная ткань, один из самых крупных органов иммунной системы, а также все типы бокаловидных клеток (Б). В динамике эксперимента изменялось число интраэпителиальных лимфоцитов (ИЛ), их топография и перераспределялись морфофункциональные типы Б-клеток, высвобождающие муциновый гель, которые в совокупности формируют мукозальный барьер. Спустя один месяц было отмечено достоверное повышение общего числа ИЛ, что способствовало перераспределению Б-клеток с преобладанием наполненных (Бн) и узких (Бу) в состоянии покоя, определяющих снижение плотности муцинового геля (ПМГ), покрывающего эпителиальный пласт, на фоне возникновения сильной корреляции между ПМГ и ИЛ, которая не наблюдалась в контроле. Отсюда следует, что трансформация исследуемых критериев индуцирует развитие защитных механизмов. Спустя три месяца достоверное повышение показателей ПМГ в обратной зависимости коррелировало с числом Бн и Боп крипт, а между ИЛ крипт и Боп ворсинок была установлена сильная прямая корреляция, что определило функциональность кишечной иммунной системы, направленную на поддержание барьерного эффекта с максимальными показателями ПМГ. Через шесть месяцев показатели ПМГ не отличались от контрольных значений, а сильные прямые и обратные корреляционные связи возникали между всеми типами Б-клеток, как в контроле, так и в эксперименте, подтверждая восстановление мукозального барьера.

Выводы. Эксперимент позволяет предположить, что последствия биоэффектов обедненного урана независимо от отдаленности сроков определяют кумулятивный радиотоксический характер воздействия, учитывая пролонгацию поражения и выраженность защитных механизмов мукозального иммунитета слизистой оболочки тощей кишки.

ОЦЕНКА РАДИОМОДИФИЦИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ИНГИБИТОРА NOS T1023 ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В ПОСТЛУЧЕВОМ ПЕРИОДЕ

В.М. Макаrchук, М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, А.С. Филимонов,

О.С. Измestъева, А.С. Сабурова, В.О. Сабуров, А.А. Лычагин

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,

г. Обнинск, Россия

vikymakarchuk@mail.ru

Ранее в своих исследованиях мы показали, что ингибитор синтаз оксида азота (NOS) T1023 обладает свойствами вазоактивного, гипоксического радиопротектора и при относительно безопасных дозах ($1/5-1/4$ ЛД₁₀) обеспечивает выраженную профилактику костномозговой и энтеральной форм острой лучевой болезни, не уступая в эффективности известным радиопротекторам – его ФИД составляет 1,6-1,8. В то же время, способность эндогенного оксида азота (NO) регулировать пролиферацию и дифференцировку гемопоэтических стволовых клеток и ранних предшественников, а также их способность к колониеобразованию позволяет судить об эффективности NOS-ингибиторов в качестве средств терапии костномозгового лучевого синдрома.

Целью данной работы явилось экспериментальное изучение влияния ингибитора NOS T1023 при его терапевтическом применении на течение костномозговой формы острой лучевой болезни у мышей.

Материалы и методы. Исследования выполнены на самцах мышей-гибридов F₁ (СВА×С₅₇BL_{6j}) в возрасте 2,5-3 месяца с исходной массой тела 24-26 г. В работе использовано соединение T1023 (1-изобутаноил-2-изопропилизотиомочевины гидробромид), которое вводили внутривентриально. Животных подвергали общему воздействию гамма-излучения ⁶⁰Со в дозе 7,5 Гр (мощность дозы 0,45 Гр/мин). Противолучевые эффекты T1023 оценивали по тесту 30-суточной выживаемости животных. Исследование образцов крови и красного костного мозга осуществляли с помощью гематологического анализатора Abacus Junior Vet (Diatron, Австрия).

Результаты. Впервые проведено исследование терапевтической эффективности ингибитора NOS T1023 при костномозговой форме острой лучевой болезни. Показано, что применение исследуемого вещества в отдалённом постлучевом периоде, спустя 3-6 сут после лучевого воздействия в дозе 7,5 Гр, позволяет увеличить на 45-50 % 30-суточную выживаемость мышей. При этом выраженность терапевтического эффекта возрастает с повышением дозы T1023, но не изменяется при увеличении кратности его введения. В морфологических исследованиях установлено, что действие T1023 при таком применении не влияет на глубину раннего опустошения красного костного мозга и крови облученных мышей, но в последующем сопровождается значительным ускорением восстановления миелопоэза в костном мозге и повышением содержания гранулоцитов в крови.

Заключение. Полученные результаты наглядно демонстрируют способность соединения T1023 значительно ослаблять тяжесть костномозгового лучевого синдрома при применении через 3-6 сут после лучевого воздействия. Эти данные существенно расширяют представления о радиомодифицирующих возможностях ингибиторов NOS, в частности, соединения T1023 и свидетельствуют, что такие вещества могут применяться не только как гипоксические радиопротекторы, но и в качестве радиомитигаторов - средств ранней терапии острой лучевой болезни.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ОТВЕТ ОРГАНОВ У ГРЫЗУНОВ (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771) НА РАДИАЦИОННУЮ НАГРУЗКУ В ЗОНЕ ВУРСа

Н.А. Орехова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия
naorekhova@mail.ru

Исследования, посвященные изучению воздействия ионизирующего излучения с низкой мощностью дозы на биоту из антропогенно-трансформированной среды обитания, предоставляют уникальную возможность для получения информации о потенциальной биологической опасности, связанной с тяжелыми техногенными катастрофами.

Цель. Целью настоящего исследования был сравнительный анализ функционально-метаболических эффектов в трех органах (селезенке, печени и миокарде) у полевой мыши (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771) с учетом внутреннего и внутреннего воздействия ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Материал и методы. Импадный участок ($55^{\circ}49'\text{N}$, $60^{\circ}53'–54'\text{E}$) находится в пределах центральной оси следа, в 20 км от эпицентра аварии на ПО Маяк с концентрацией ^{90}Sr и ^{137}Cs в верхних слоях почвы (0–10 см) $10000 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$ и $1000 \text{ Бк} \times \text{кг}^{-1}$, соответственно (Молчанова и др., 2014). В качестве биохимических показателей использованы: содержание в тканях общего белка, нуклеиновых кислот (ДНК, РНК); активность глюкозо-6-фосфат-изомеразы (ГФИ, ЕС 5.3.1.9); интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ); активность каталазы (КАТ, ЕС 1.11.1.6). Концентрация $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ в челюсти всех мышей определялась методом неразрушающей β -радиометрии (Малиновский и др., 2012) с использованием дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М (АТОМТЕХ, Беларусь). Для оценки внешнего облучения животных ^{137}Cs и ^{90}Sr обращались к ERICA tool version 1.2.1 (Brown et al., 2008, 2016).

Результаты. Самая низкая мощность дозы 0.013 мГр/день для *A. agrarius* примерно в пять раз превышает среднемировое внешнее (космическое и земное) фоновое облучение, составляющее 0.87 мГр/год . Из всей выборки только 25% (16 из 59 особей) получали дозу более 0.1 мГр/день ; но даже они находятся в пределах диапазона мощности дозы ($\text{DCRLs} = 0.1–1 \text{ мГр/день}$), в котором существует только возможность вредного воздействия ионизирующего излучения согласно ICRP (2008). Предполагается, что уровень радиационной нагрузки на особь «априори» недостаточен для проявления вредных воздействий, но вполне актуален для стимуляции любой системы организма (контролируемой различными органами) в зависимости от уровня ее исходной (базальной) статичности. Увеличение мощности дозы (с 0.013 до 0.177 мГр/день) стимулировало повышение уровня показателей, обеспечивающих поддержку высокой емкости метаболических функций тканей за счет активации белок-, ДНК-, РНК-синтезирующих процессов и гликолиза. Радиационно-индуцированное повышение уровня КАТ и ПОЛ является косвенным свидетельством роста активных форм кислорода в тканях. В пределах «физиологических», умеренных доз их эффект сравним с действием митогенов, которые вызывают переход клеток из стадии G_0 в состояние G_1 и, следовательно, их прогрессию в клеточном цикле (Boonstra and Post, 2004). Уровни реактивности исследуемых органов (миокард <печень <селезенка) развиваются, по-видимому, в соответствии со степенью их «статичности» (радиочувствительности) по закону Бергонье и Трибондо (1906).

Работа поддержана государственным контрактом (№ 0400-2019-0006) Института экологии растений и животных УрО РАН.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ДОЗ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОФИЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ АНТИГЕНОВ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА

*Д.Ю. Усупжанова, Т.А. Астрелина, И.В. Кобзева, В.В. Брунчуков,
А.А. Расторгуева, Е.И. Добровольская, Н.В. Соколова, А.С. Самойлов*
ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
usupzhanova94@mail.ru

На протяжении жизни человек подвергается воздействию низких доз ионизирующего излучения (ИИ). Исследования в США показали, что в среднем за год около 4 млн. населения американцев получают дозу облучения равную 50мГр. Это значение является значимым, поскольку Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) обозначила критические значения низких доз ИИ в диапазоне от 20 до 50мГр. Учитывая неизбежно растущее количество источников низкодозового излучения, можно сказать, что точная оценка рисков, связанных с низкими дозами облучения, является важной задачей общественного здравоохранения. Особенно внимание привлекают эффекты, оказываемые низкими дозами ИИ на мезенхимальные стромальные клетки (МСК) человека. Качественные и количественные изменения характеристик МСК, произошедшие под действием ИИ, могут быть рассмотрены, как индикаторы риска возникновения прогнозируемых опасностей для здоровья. Одной из наиболее важных характеристик МСК является экспрессия минимального профиля поверхностных антигенов (АГ), в частности, CD73, CD90, CD105, а также отсутствие маркеров – CD14, CD34, CD45, CD11b, CD19 и HLA-DR. Оценка изменений экспрессии поверхностных АГ МСК, происходящих под влиянием ИИ, может послужить критерием оценки последствий воздействия радиации.

Целью исследования явилось изучение влияния низких доз радиационного излучения на профиль поверхностных антигенов МСК слизистой ткани десны человека.

Материалы и методы. В работе были использованы образцы МСК слизистой ткани десны человека. Культивирование осуществляли по стандартной методике. Клетки облучали на рентгеновской установке РУСТ-М1 (Россия) с мощностью дозы 39 мГр/мин на 5 пассаже в дозах 50, 100, 250, 1000 мГр. Оценку уровня поверхностных антигенов МСК осуществляли на 9, 16, 43 и 64 дни после облучения. Исследование проводилось на проточном цитофлуориметре BD FACS Canto II (Becton Dickinson, США). Статистический и математический анализ полученных данных проводился с использованием пакета программ Statistica (StatSoft) и Microsoft Office Excel 2007.

Результаты. В ходе исследования было обнаружено снижение уровня экспрессии CD117 (9 день) и CD133 (16 и 43 дни), а также повышение экспрессии CD133 (64 день) пропорционально полученной дозе облучения. В тоже время повышение уровня экспрессии CD45 (64 день), а также снижение плотности CD90 и CD73 на поверхности клеток (16 день) не были пропорциональны полученной дозе облучения.

Выводы. Изменения уровней экспрессии поверхностных АГ МСК указывают на процессы, происходящие в клетках под воздействием ИИ. В частности, наблюдаемые изменения, связанные с такими АГ, как CD90 и CD45, могут указывать на снижение степени стволовости МСК. Таким образом, изменения экспрессии поверхностных АГ может послужить критерием оценки последствий воздействия ИИ на МСК. Дальнейшие исследования пролиферативной активности, дифференцировочного потенциала, а также секреторного профиля МСК помогут точнее оценить смысл и значимость наблюдаемых изменений.

СЕКЦИЯ № 7
ПРОТИВОЛУЧЕВЫЕ СРЕДСТВА

ИНТЕРЛЕЙКИН-1 β КАК СРЕДСТВО ПРОФИЛАКТИКИ И ТЕРАПИИ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ОТ СОЧЕТАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Н.В. Аксенова, Д.А. Сидоров, А.Н. Гребенюк

Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова МО РФ,
г. Санкт-Петербург

Согласно данным литературы, в ранний период ликвидации последствий радиационной аварии ведущее значение в развитии острых радиационных эффектов наряду с внешним воздействием принадлежит сочетанному (внешнему и внутреннему) облучению. Полученная участниками ликвидации последствий аварии доза внутреннего облучения может составить около 20 % от суммарной дозы. Само по себе внутреннее воздействие не вызывает острых проявлений в ранний период. Однако при сочетанном лучевом поражении на фоне больших доз внешнего облучения, внутреннее радиоактивное заражение продуктами ядерного деления существенно повлияет на течение и исход лучевого поражения.

Целью данного исследования было разработать модель сочетанного лучевого поражения, при котором вклад внутреннего облучения в суммарную дозу сочетанного воздействия составил бы около 20 %, оценить на этой модели профилактическую и раннюю лечебную эффективность ИЛ-1 β по критериям выживаемости и показателям периферической крови.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на белых беспородных крысах-самцах. Сочетанное внешнее и внутреннее радиационное воздействие моделировалось путем инкорпорации животным смеси радионуклидов ^{239}Pu , ^{137}Cs и ^{90}Sr непосредственно после окончания внешнего γ -облучения в дозе 8 Гр (мощность дозы 1 Р/мин, время экспозиции 13 ч 20 мин). Учитывая вклад внешнего (80 %) и внутреннего (20 %) радиационного воздействия суммарная доза сочетанного облучения за 30 сут эксперимента составила 10 Гр (СД_{70-90/30}).

Результаты. Установлено, что в условиях сочетанного радиационного воздействия гибель животных контрольной группы составила 70 %, а средняя продолжительность жизни погибших крыс $19,6 \pm 2,1$ сут. Профилактическое применение ИЛ-1 β на 40 % снижало показатели смертности облученных животных и на 8 сут увеличивало среднюю продолжительность жизни погибших от радиационной травмы крыс. Еще более эффективным было использование ИЛ-1 β в качестве средства ранней терапии: выживаемость облученных животных увеличивалась на 50 %, а средняя продолжительность жизни погибших особей возрастала на 8,4 сут.

Рекомбинантный ИЛ-1 β , введенный за 24 ч до или через 1 ч после сочетанного радиационного воздействия снижал выраженность лейкопении на 5 сут наблюдения, применение препарата, как с профилактической, так и с лечебной целью способствовало также ускорению восстановления уровня лейкоцитов в периферической крови облученных животных. Похожие закономерности были обнаружены и при оценке влияния профилактического или раннего лечебного применения ИЛ-1 β на динамику абсолютного количества нейтрофилов и лимфоцитов. Позитивное влияние исследуемый препарат оказывал и на показатели цитохимического статуса нейтрофилов (содержание в клетках катионных белков, миелопероксидазы и щелочной фосфатазы).

Выводы. Таким образом, при сочетанном внешнем и внутреннем облучении в дозе СД_{70/30} как профилактическое, так и раннее лечебное применение ИЛ-1 β позволяло увеличить выживаемость облученных животных, и быть эффективным в отношении показателей периферической крови, подвергшихся лучевому воздействию животных.

ГЕРОПРОТЕКТОРЫ И РАДИОМИТИГАТОРЫ НА ОСНОВЕ ТИОНИТРОЗИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА

С. М. Алдошин¹, В. В. Безруков², Е. Н. Горбань², В. К. Кольтовер¹, Н. А. Санина²

¹ Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Московская обл., Россия

² Институт геронтологии им. Д.Ф. Чеботарева НАН Украины, Киев, Украина

koltover@icp.ac.ru, engorban@meta.ua

Для защиты персонала атомных станций и населения от хронического излучения, например, при авариях, необходимы малотоксичные средства, пригодные для долгосрочного применения. Аналогично, в онкологии при лучевой терапии для минимизации последствий лучевых повреждений клеток здоровой ткани необходимы «радиомитигаторы» (Grebenyuk et al, 2014). В этом плане представляют интерес доноры оксида азота (NO), играющего важную роль в адаптационных реакциях организма. Например, препарат кораргин, повышающий продукцию эндогенного NO, предотвращает развитие радиоиндуцированного метаболического синдрома у лабораторных животных (Горбань и др., 2012). Ранее было показано, что тионитрозильные комплексы железа (ТНКЖ) как синтетические доноры NO перспективны для применения в хемотерапии и в качестве антисептиков (Санина, Алдошин, 2011; Shmatko et al, 2015). **Целью** настоящей работы было изучить влияние ТНКЖ $\text{Na}_2[\text{Fe}_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2(\text{NO})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ на продолжительность жизни и развитие радиоиндуцированного метаболического синдрома у лабораторных животных после рентгеновского облучения.

Материалы и методы. ТНКЖ был синтезирован в ИПХФ РАН. Испытания биологической активности ТНКЖ выполнены в Институте геронтологии АМН Украины. В экспериментах по изучению геропротекторного эффекта ТНКЖ крысы-самцы линии Вистар, возраст 24 мес, были разделены на две группы: животные, которым вводили ТНКЖ (5 мг/кг массы в 1.0 мл физиологического раствора, ежедневно, однократно, внутривбрюшинно, на протяжении 14 суток), и контрольные животные, которым вводили физиологический раствор. В экспериментах по изучению радиопротекторного эффекта ТНКЖ животные, возраст 7-8 мес, были разделены на 3 группы: интактные (контроль); облученные (рентген, доза 5 Гр), которым после облучения вводили ТНКЖ (5 мг/кг массы в 1.0 мл физиологического раствора, ежедневно, однократно, внутривбрюшинно, на протяжении 30 суток); облученные животные, которым после облучения вводили физиологический раствор.

Результаты. Введение старым животным ТНКЖ приводит к 30-процентному увеличению продолжительности жизни. При этом предотвращаются негативные возрастные изменения уровня малонового диальдегида и активности антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы и глутатионредуктазы в тканях печени, сердца и мозга животных. В экспериментах с облученными животными аналогичное курсовое введение ТНКЖ предотвращало негативные эффекты облучения на активность ферментов антиоксидантной защиты и активацию процессов перекисного окисления липидов в тканях. Кроме того, введение ТНКЖ оказывает положительное влияние на метаболизм NO в плазме крови, сердца и аорте облученных животных, а также положительно влияет на ряд показателей углеводного обмена.

Выводы. Обнаружен радиопротекторный эффект ТНКЖ как донора NO. Кроме того, ТНКЖ проявляет значительный геропротекторный эффект, что свидетельствует о его низкой токсичности. Полученные результаты демонстрируют принципиальную возможность создания на основе ТНКЖ новых лекарственных средств, пригодных для долгосрочного применения в антирадиационной медицине.

ФАРМАКОТЕРАПИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ЖИВОТНЫХ ИСКУССТВЕННЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

В.А.Бударков,¹ А.С.Зенкин², Н.В.Грехова¹, Г.В.Козьмин³

¹ Федеральный исследовательский научный центр вирусологии и микробиологии, Вольгинский, Россия

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, Саранск, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия
budarkovva@yandex.ru

Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) служит основным критическим органом внутреннего облучения организма радиоактивными частицами.

Целью настоящего исследования являлось экспериментальное изучение средств терапии радиационного язвенного гастроэнтероколита, вызванного поступлением в ЖКТ животных «горячих» радиоактивных частиц.

Материал и методы. Работа проведена на половозрелых беспородных морских свинок, крысах породы Вистар и овцах породы Прекос. Эффективность средств лечения радиационно-язвенных поражений ЖКТ оплавленными радиоактивными частицами (ОРЧ), оценивали при внутреннем облучении с ЛД₅₀₋₈₀ и выше. В опытах использованы ОРЧ трехкомпонентной модели локальных выпадений наземного ядерного взрыва. Радиоактивные частицы взвешивали путем барботаж в 2,5% геле картофельного крахмала, вводили морским свинкам и крысам внутрижелудочно через металлический зонд с помощью шприца. В экспериментах с овцами ОРЧ задавали животным с кормом.

В качестве средств лечения радиационных поражений ЖКТ испытана эффективность препаратов с различными механизмами действия: повышающих естественную резистентность, оказывающих местное заживляющее действие, солевое слабительное, холиномиметики. При оценке средств лечения радиационного гастроэнтероколита использованы клинические, морфологические показатели и выживаемость.

Результаты. Опытами на лабораторных животных, подвергнутых внутреннему облучению ОРЧ, установлена выраженная лечебная эффективность глауберовой соли, винилина, карбахолина, а также пилокарпина в сочетании с диметилсульфоксидом. Она проявлялась достоверным снижением интенсивности поражения слизистой ЖКТ, ускорением заживления радиационных язв и повышением выживаемости животных. Признаки восстановления нарушенных ОРЧ структур ЖКТ наблюдали при лечении животных пропиацидом, кватерином, соком каланхое, янтарной кислотой.

Выводы. Данные, полученные при изучении терапевтической эффективности фармакологических средств на лабораторных животных, пораженных ОРЧ, подтверждены при исследовании глауберовой соли, карбахолина и продигиозана на овцах, подвергнутых сочетанному радиационному воздействию (внешнему - γ и внутреннему $\gamma + \beta$). Это свидетельствует о сходном патогенезе развития заболевания у животных с простым и сложным желудком и правомочности осуществления первичного отбора средств для лечения радиационных поражений, вызываемых ОРЧ, на лабораторных животных.

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА, СОЧЕТАЮЩИЕ РАДИОЗАЩИТНЫЕ И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА

Быков В.Н.^{1,2}, Федорос Е.И., Анисимов В.Н., Романенко С.Н.²

¹ НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия

² НПЦ «Фармзащита» ФМБА России, Московская обл.

bykov_imm@mail.ru

Воздействие ионизирующих излучений (ИИ) на организм человека может сопровождаться развитием острых и отсроченных эффектов. Острые эффекты, как правило приводят к гибели в ранние сроки после облучения. Отсроченные эффекты могут определять наступление летального исхода спустя длительное время после облучения или ускорять развитие процессов старения организма. В связи с этим вещества, предотвращающие или замедляющие развитие эффектов радиации, можно условно отнести к геропротекторам, хотя их влияние на процессы старения при отсутствии ИИ зачастую остается не изученным. Анализ эффектов радиозащитных соединений и геропротекторов позволяет сделать вывод о том, что механизмы их воздействия на биологические мишени нередко совпадают. В качестве реализующего фактора противолучевой и антивозрастной активности, как правило выступает регуляция клеточного цикла и апоптоза.

Цель исследования. Поиск соединений, сочетающих радиозащитные и геропротекторные эффекты, и анализе возможного механизма их действия.

Материалы и методы. Был выполнен анализ отечественных и зарубежных публикаций, представленных в международных базах данных научных исследований.

Результаты. Отечественными авторами с начала 1970-х годов до 2000-х годов по результатам исследований на животных было выделено более 30-ти потенциальных геропротекторов. В базе «Geroprotectors» (<http://geroprotectors.org>) по состоянию на 2015 г содержалось более 260 записей о результатах исследований потенциальных геропротекторов на 13-ти модельных организмах. В базе «DrugAge» (<http://genomics.senescence.info/drugs/>) содержится уже более 1300 записей о влиянии на продолжительность жизни 418 различных веществ на 27 модельных организмах.

Нами были выделены более 20 соединений, которые сочетают радиозащитный и геропротекторный эффекты, что может быть обусловлено общими механизмами действия. Предотвращение острых эффектов радиации, как правило, связано с остановкой клеточного цикла, что создает условия для репарации ДНК, поврежденной после воздействия ИИ.

Выводы. Предотвращение отдаленных эффектов радиации, как и геропротекторное действие, нередко определяется индукцией апоптоза клеток с измененным генетическим материалом (в результате неполной репарации или канцерогенеза), а также оптимизацией (снижением) энергопотребления. Наиболее обширную группу составляют биофлавоноиды (гинсенозиды, катехины, ресвератрол, кверцетин, куркумин, генисцен, байкалеин, производные лигнина), которые, наряду с хорошо известной антиоксидантной активностью, проявляют модулирующее действие в отношении клеточного цикла: с одной стороны, способствуют его остановке и запуску процессов репарации ДНК, а с другой стороны – обладают проапоптотическим действием. Среди других соединений следует отметить мелатонин, ряд нестероидных противовоспалительных средств (мелоксикам, аспирин), статины (симвастатин, правастатин), кофеин, а также метформин и рапамицин, традиционно рассматриваемые как потенциальные геропротекторы.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ИЗ ВЕЩЕСТВ МИКРОБНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОПРОТЕКТОРОВ

К.Н.Вагин¹, В.Г.Семенов², Н.М.Василевский¹, Р.Н. Низамов¹

¹Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
Казань, Россия

²Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Чебоксары, Россия
kostya9938@yandex.ru

Микробы являются неотъемлемой частью организма человека и животных и составляют его микрофлору. При патологических состояниях качественный состав микрофлоры изменяется. Для восстановления микрофлоры кишечника требуется применение микробных агентов, что может благоприятно повлиять на исход заболевания и снизить смертность животных. Микробные препараты положительно влияют на течение острой лучевой болезни, снижая тяжесть ее течения.

Цель настоящих исследований: получение протективных веществ микробного происхождения для конструирования на их основе биологических радиопротекторов

Материалы и методы. В качестве структурных компонентов отдельных микроорганизмов (протективный антиген, анатоксин, радиотоксин, экзо- и эндотоксин, полисахариды *E.coli*, полисахарид, эндотоксин листерии (шт.799) использовали препараты собственного изготовления, методы и способы получения которых изложены нами в более ранних публикациях. Получение протективных антигенов, анатоксинов и радиотоксинов *E.coli*, *Sal. typhimurium* осуществляли по методикам, описанными Мухаметшиным И.Р. (2002). Полученный по вышеуказанной методике препарат разводили физиологическим раствором и использовали в дальнейшей работе в качестве хиноидного радиотоксина (ХТР). В соответствии с вышеописанной методикой, параллельно получали протективный антиген, антитоксины и радиотоксины из дрожжей, сальмонелл, листерий, фузобактерий с той лишь разницей, что для выращивания перечисленных микроорганизмов и получения биомассы использовали соответствующие питательные среды. Выращенные на питательных средах микроорганизмы после суспендирования в физиологическом растворе, с целью индуцирования радиотоксинов облучали на гамма-установке «Исследователь» в диапазоне доз 110 до 150 Гр (в зависимости от видовой и штаммовой радиочувствительности микроорганизмов). Указанные дозы облучения, обеспечивающие максимальный синтез радиотоксина, были предварительно установлены экспериментальным путем.

Результаты. Полученные вещества микробного происхождения были подвергнуты предварительному (скрининговому) исследованию с использованием модельной *in vitro* тест-системы- культивирование лимфоцитов периферической крови животных совместно с испытуемыми агентами. Установлено, что из 55 видов структурных компонентов микроорганизмов 10 обладали достаточно высокой радиозащитной активностью, обеспечивая 59,9-74,5%-ную выживаемость подвергнутых прединкубации лимфоцитов в присутствии 0,04-0,22 мг/мл ВМП. При этом высокую радиозащитную активность из испытанных средств проявляли протективный радиоантиген и радиотоксин кишечной палочки, атак же эндотоксин кишечной палочки.

Выводы. С использованием вышеприведенной методики получения радиотоксинов, из тест-микроорганизмов были изготовлены 6 видов хиноидных радиотоксинов из кишечной палочки, сальмонелл, микоплазм, листерий, фузобактерий и дрожжей, которые были испытаны в качестве потенциальных радиозащитных препаратов.

ВЛИЯНИЕ ДАФС-25к И «Монклавит-1» НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У КРЫС ПРИ ОСТРОМ РАДИАЦИОННОМ ПОРАЖЕНИИ

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

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

Одним из наиболее перспективных решений проблемы практического применения противолучевых препаратов отводят разработке рецептур (комбинаций). Одной из главных задач составления рецептур является снижение токсичности противолучевых средств с одновременным потенцированием радиозащитного и лечебного действия. При этом комбинирование препаратов с принципиально разным механизмом противолучевого действия, реализуемым на разных этапах развития радиационного поражения может значительно повысить лечебный и защитный эффект вследствие воздействия ионизирующих излучений.

Целью данного экспериментального исследования является изучение радиозащитной и лечебной эффективности комбинированного применения препаратов йода и селена при остром внешнем однократном воздействии гамма-излучения на организм белых лабораторных крыс.

Материалы и методы. Эксперимент выполнен на 140 белых, аутбредных лабораторных крысах-самцах, живой массой 200-220 грамм, распределённых по семи подопытным группам, по 20 особей в каждой. Для моделирования острого радиационного поражения крыс подвергали общему, внешнему, однократному, относительно равномерному воздействию гамма-излучения ^{137}Cs , в дозе 7,0 Гр, при мощности дозы 0,99 Гр/мин на установке «ИГУР-1». ДАФС-25к вводили крысам внутривентрикулярно, в дозе 5,3 мг/кг и 1,3 мг/кг, за 3 часа до воздействия гамма-излучения, однократно. Монклавит-1 применяли внутривентрикулярно в виде водного раствора, через 12 ч после облучения, а затем с интервалом 48 ч, предварительно смешав с водой в соотношении 1:1, общим объёмом 1,0 мл на 100 грамм живой массы на одно введение, 10 раз. Пробы крови отбирали из латеральной вены хвоста за сутки до облучения и на 1, 3, 5, 7, 12, 15, 20, 30 сутки после облучения.

Результаты. Установлено, что острое воздействие гамма-излучения в дозе 7,0 Гр вызывало у крыс развитие острого радиационного поражения тяжёлой степени. Пик лейкопении и эритроцитопении у всех облучённых животных приходился на 12 сутки. При этом число лейкоцитов и эритроцитов у крыс, получавших ДАФС-25к и Монклавит-1 в период с 5 по 30 сут было статистически значимо выше относительно контрольных значений на 15–21 % и 7–11 % соответственно ($p \leq 0,05$, критерий Тьюки). Количество тромбоцитов у животных, получавших ДАФС-25 к с 7 суток по 30 сутки и у крыс на фоне Монклавит-1 с 12 суток по 30 сутки было статистически значимо выше чем у животных группы «Контроль облучения» в аналогичные периоды наблюдения на 36-100 % ($p \leq 0,05$, критерий Тьюки).

Выводы. Комбинированное применение ДАФС-25 в дозе 5,3 мг/кг и 1,3 мг/кг за 3 часа до общего, внешнего, однократного воздействия гамма-излучения в дозе 7,0 Гр с последующим десятикратным внутривентрикулярным введением Монклавит-1 оказывало благоприятное влияние на показатели периферической крови у животных. Тяжесть панцитопенического синдрома в латентный период, период «разгара» заболевания и восстановления была статистически значимо ниже относительно контрольных значений. Возможным механизмом радиозащитного и радиотерапевтического действия изученных соединений может являться купирование звена непрямого действия гамма-излучения, в частности перекисных соединений.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ КАК ОТРАЖЕНИЕ СТРАТЕГИИ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

М. В. Васин¹, И. Б. Ушаков²

¹Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования,
Москва, Россия

²Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия
e-mail: mikhail-v-vasin@yandex.ru

К настоящему времени в мировой практике есть деление противолучевых средств на радиопротекторы и радиомитигаторы. Основой их разделения является то, что первые оказывают свой специфический эффект при применении только до воздействия радиации, а последние могут оказывать свое терапевтическое действие в ранние сроки после облучения до момента клинического проявления лучевого поражения.

В отечественной практике они именовались средствами ранней терапии, хотя данный термин сужает их потенциальные способности действовать и при применении их до облучения. Основоположник отечественной радиационной фармакологии профессор П.П. Саксонов (1968, 1975) делил противолучевые средства: (1) для защиты от высоко интенсивного, кратковременного и опасного для жизни человека воздействия радиации в условиях радиационных катастроф, (2) для защиты здоровых тканей в практике радиотерапии онкологических больных и (3) для снижения последствий низко интенсивного действия радиации.

Раннее нами выдвинутое предложение внести в современную классификацию противолучевых средств помимо радиопротекторов и радиомитигаторов понятие радиомодуляторов еще не нашло полной поддержки среди радиационных фармакологов. Выделение этих средств защиты основано на их специфической активности по поддержанию антиоксидантного статуса организма при воздействии неблагоприятных факторов среды, в том числе, радиационного характера, предопределяющих снижение рисков их воздействия для здоровья и жизни человека.

Исходя из выше изложенного, широкое толкование понятия радиопротектора, как любого средства, оказывающего противолучевое действие при применении до облучения не учитывает механизм их действия, то, что в это понятие могут подойти и радиомитигаторы, и радиомодуляторы, действующие в том числе и при применении до облучения. Но они по своей фармакодинамике, не представляют практического интереса как средства защиты при угрозе экстремальных смертельных доз при радиационных катастрофах, включая террористические угрозы применения ядерных боезарядов. Радиопротекторы ограничивают интенсивность радиационно-химических реакций при непосредственном их присутствии при действии ионизирующего излучения, достигая теоретически возможных пределов нейтрализации «кислородного эффекта» как радиобиологического феномена с ФУД до 1,5-2,0 для человека.

Радиомитигаторы, действуя на системном уровне, проявляют противолучевые свойства через несколько часов, запуская провоспалительные реакции и тем самым стимулируя природный иммунитет человека. Практическое их применение наиболее рационально в первые часы после облучения, но потенциальные их возможности по противолучевому эффекту значительно ниже по сравнению с радиопротекторами.

Для реализации положительного, но весьма ограниченного по выраженности противолучевого эффекта радиомодуляторов предполагается, как правило, их повторное применение с достижением значимого радиомодифицирующего действия через 1-2 недели. По этой причине их применение целесообразно при длительном низкоинтенсивном облучении с учетом возможности их повторного применения при хорошей их переносимости человеком.

ДИЭФИРЫ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ С РАДИОПРОТЕКТОРАМИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БИОДОСТУПНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИХ ДЕЙСТВИЯ

М. В. Васин, Р. В. Афанасьев

Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики) ЦНИИ ВВС МО РФ, Москва, Россия

mikhail-v-vasin@yandex.ru

Разработка средств медицинской защиты космонавтов в открытом космосе в условиях возникновения повышенной солнечной активности при воздействии интенсивного пролонгированного протонного излучения в дозах, вызывающих острую лучевую болезнь, представляет собой весьма важную научную задачу. Известные радиопротекторы в условиях снижения мощности дозы и увеличения времени облучения до несколько часов резко снижают свою противолучевую эффективность из-за кратковременного их действия. Синтез лекарственных форм радиопротекторов с пролонгированным действием одно из перспективных направлений.

Цель: Оценить потенциальные возможности диэфира серотонина с янтарной кислотой повышать продолжительность и биодоступность радиопротектора при сохранении его переносимости организмом.

Материал и методика Опыты проведены на половозрелых белых беспородных мышах и крысах. γ -Облучение животных проводили на γ -терапевтической ^{60}Co установке “Хизотрон” (Чехия) в условиях острого и пролонгированного до 3 ч воздействия радиации, в том числе, при частичном экранировании головы и верхней трети живота крыс с помощью свинцовых блоков толщиной 3 см. Сукциноил-5,5'-дигидрокситриптамиин, серотонин или мексамин вводили перед облучением внутривенно или перорально в эквивалентных дозах.

Результаты исследования Установлено, что острая токсичность сукциноил-5,5'-дигидрокситриптамиин в условиях пролонгированного γ -облучения в течение 3-х ч сукциноил-5,5'-дигидрокситриптамиина и широта радиозащитного действия близка в эквивалентных дозах переносимости серотонина и мексамина. Диэфир серотонина с янтарной кислотой обладает выраженными противолучевыми свойствами при парентеральном и пероральном применении при сравнении с серотонином, который малоактивен при применении внутрь. В его составе серотонин увеличивает продолжительность своего фармакологического и противолучевого действия в несколько раз до 1-го ч при сохранении его хорошей переносимости. В условиях пролонгированного γ -облучения при комбинированном применении диэфира серотонина с янтарной кислотой и частичного экранирования головы или области живота радиопротектор проявляет выраженные противолучевые свойства, защищая 80-100% крыс при 40% выживаемости животных в контрольной группе на облучение. В тех же условиях при раздельном применении серотониновый диэфир, мексамин и экранирование области головы или живота не обладали противолучевым действием. Кроме того, мексамин при комбинированном применении с экранированием головы или живота был также неэффективен.

Заключение Диэфиры дикарбонновых кислот с радиопротекторами позволяют повышать их биодоступность при пероральном применении и в то же время в несколько раз увеличивать продолжительность действия, не усугубляя токсичность и переносимость препаратов организмом. Вследствие чего, в частности, диэфир серотонина с янтарной кислотой в условиях неравномерного пролонгированного γ -облучения до 3-х ч, когда радиопротектор неактивен, позволяет сохранять его высокие противолучевые свойства.

ГЕПАТО- И РАДИОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ БАЗИДИОМИЦЕТОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПОРАЖЕНИИ У МЫШЕЙ

Н.Н. Велякина¹, Е.М. Кадукова¹, О.В. Шаховская¹, К.М. Фабушева¹, Е.А. Медведева¹,
В.В. Трухоновец²

¹Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины
helena.kad@mail.ru

Целью работы было исследование гепато- и радиопротекторной активности водных и водно-этанольных экстрактов плодовых тел *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus* (штамм 966) и *Flammulina velutipes*, полученных при искусственном культивировании, у мышей, подвергнутых комбинированному воздействию тетрахлорметана (ТХМ) и общего однократного γ -облучения (3 Гр).

Материалы и методы. Эксперименты проведены на мышах обоего пола, которым вводили ТХМ в виде 50% раствора на подсолнечном масле в дозе 2 мл/кг подкожно в 1-е и 3-и сут. эксперимента. На 4-е сут. проводилось общее облучение животных в дозе 3 Гр (^{137}Cs , 0,62 мГр/мин). Водно-спиртовые экстракты *G. lucidum* и *H. erinaceus* и водные экстракты *F. velutipes*, а также препарат сравнения Хофитол животные получали с питьем в концентрациях 0,5 мл/кг, 1,5 мл/кг и 4,5 мл/кг после облучения до вывода из эксперимента (14-е и 30-е сут.). В сыворотке крови определяли активность аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспартатаминотрансферазы (АсАТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), ТБК-реактивных продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) общепринятыми методами. Количество лейкоцитов в периферической крови подсчитывали в камере Горяева. Детоксикационная функция печени оценивалась по длительности тиопенталового сна.

Результаты. Введение мышам ТХМ и последующее облучение вызывали интоксикацию организма и воспалительный процесс в печени, который сопровождался повышением активности ЩФ. В группах мышей, которые употребляли водно-этанольные экстракты гриба *G. lucidum* на фоне поражения ТХМ, значения содержания ЩФ практически нормализовались, но в группах комбинированного действия факторов оставалось сниженным (14-е сут). На 14-е сутки содержание АлАТ, АсАТ и ЛДГ в сыворотке крови мышей группы «ТХМ» в 1,97, в 1,83 и 1,51 раза превышало значение соответствующего контроля. У мышей группы «ТХМ + 3 Гр» отмечалось усиление цитолиза гепатоцитов, т.к. уровень АлАТ и ЛДГ в крови на 14-е сутки превышал значения в группе «ТХМ». У мышей, получавших водно-этанольные экстракты гриба *G. lucidum*, происходило снижение содержания АлАТ, АсАТ и ЛДГ в сыворотке по отношению к соответствующему показателю в группах нелеченых животных, хотя не достигало уровня интактного контроля. К 30-м суткам наблюдения у мышей, получавших водно-этанольные экстракты *G. lucidum* и *H. erinaceus* в группах с ТХМ повреждением и в группах комбинированного действия факторов, содержание АлАТ, АсАТ и ЛДГ в крови не отличалось от значений соответствующего контроля, в то время как в группах «ТХМ» и «ТХМ + 3 Гр» оставалось повышенным. При этом было установлено, что водно-этанольные экстракты *H. erinaceus* стимулируют у мышей, облученных в дозе 3 Гр на фоне введения ТХМ, восстановление кроветворения.

Введение экспериментальным животным водного экстракта *F. velutipes* способствовало восстановлению нарушенной детоксикационной функции печени, уменьшив длительность тиопенталового сна на 22 %.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СХЕМЫ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ РАДИАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ

Т.Н. Власенко, О.З. Мустаев, Н.В. Аксенова, М.Р. Булатов, А.А. Суценин, В.В. Колбасов

Филиал Военно-медицинской академии им.С.М.Кирова, Москва, Россия

vlasenko_t_n@mail.ru

Цель. Экспериментальное обоснование схемы фармакологической защиты при работе в условиях действия поражающих факторов радиационной природы, включающей комбинированное применение препарата Б-190 до облучения и интерлейкина-1 β в ранние сроки после радиационного воздействия.

Материалы и методы. Эксперименты выполнены на белых беспородных мышках-самцах, подвергнутых острому относительно равномерному рентгеновскому облучения в летальных дозах в диапазоне от ЛД_{50/30} до ЛД_{100/30}. Схема оценки радиозащитной эффективности применения Б-190 и интерлейкина-1 β включала последовательное изучение показателей выживаемости и средней продолжительности жизни облученных животных, параметров радиочувствительности гемопоэтических клеток костного мозга в методиках эндогенного и экзогенного колониеобразования, динамики абсолютного количества лейкоцитов, относительного содержания нейтрофилов и лимфоцитов в периферической крови, постлучевых изменений функционально-метаболического статуса нейтрофилов периферической крови.

Результаты. В результате проведенных исследований было установлено, что как препарат Б-190, так и интерлейкин-1 β защищали от гибели мышей, однако наибольшая эффективность наблюдалась при комбинированном применении препаратов. Так, в условиях острого облучения лечебно-профилактическая схема противорадиационной защиты, включающая применение за 15 мин до радиационного воздействия препарата Б-190 в дозе 50 мг/кг и раннее (через 15 мин после радиационного воздействия) лечебное использование интерлейкина-1 β в дозе 50 мкг/кг, позволяет увеличить выживаемость облученных в дозах ЛД_{50-100/30} мышей, на 40–60%. Как изолированное, так и комбинированное применение препаратов способствует снижению выраженности постлучевых нарушений костномозгового кроветворения у мышей, подвергнутых рентгеновскому облучению в дозах ЛД_{70-90/30}; при этом наибольшее количество колониеобразующих единиц на селезенках облученных мышей в методиках эндогенного и экзогенного колониеобразования определяется при комбинированном применении радиопротектора Б-190 и средства ранней терапии интерлейкина-1 β . При остром облучении мышей в дозе 8,0 Гр последовательное применение препарата Б-190 и интерлейкина-1 β позволяет уменьшить выраженность ранней постлучевой лейко-, лимфо- и нейтрофилопении и ускорить восстановление абсолютного содержания лейкоцитов, нейтрофилов и лимфоцитов в периферической крови мышей после радиационного воздействия. Стимулирующий эффект комбинированного применения препарата Б-190 и интерлейкина-1 β в отношении показателей функционально-метаболического статуса нейтрофилов, измененных в результате облучения, проявляется в поддержании более высокого уровня гликогена, предотвращении постлучевого снижения активности миелопероксидазы и щелочной фосфатазы.

Выводы. Полученные нами результаты позволяют сделать вывод о том, что в условиях действия поражающих факторов радиационной природы схема, включающая применение до радиационного воздействия препарата Б-190 и раннее лечебное использование интерлейкина-1 β , может рассматриваться в качестве нового подхода к повышению эффективности медицинской противорадиационной защиты.

ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ГАЛАЗОЛИНА ПРИ МЕСТНОМ ЛУЧЕВОМ ПОРАЖЕНИИ ТКАНЕЙ

М.Д. Воронцова, Н.М. Ставракова, В.Н. Мальцев, А.В. Даценко

¹ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
vorontsova.m20@mail.ru

Местные лучевые поражения онкологических больных часто возникают после лучевой терапии. Объективная оценка процессов поражения и восстановления является важной задачей в клинике местных лучевых поражений.

Целью данной работы стало исследование возможности местного применения галазолина для защиты здоровых тканей при локальном облучении и значения ИКТ (инфракрасной термографии) при оценке течения лучевого поражения.

Материалы и методы. 20 беспородных крыс облучали на установке РУБ ЛНК-268 в дозе 100 Гр. На хвосты опытной группы наносили галазолин 0,1%, на хвосты контрольной группы – глицерин. ИКТ проводили с помощью тепловизора Flir SC660.

Результаты. Температура кожи хвоста крыс снижается при нанесении на него галазолина.

Выводы. Галазолин положительно действует на течение местного лучевого поражения. Метод динамической дистанционной ИКТ кожных покровов может быть использован для диагностики степени выраженности местного лучевого поражения.

ЛЕЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРАВМЫ, ПОЛУЧЕННОЙ НА ФОНЕ РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ

Т.Р. Гайнутдинов, А.М. Идрисов, В.П. Шашкаров, В.А. Гурьянова, Р.Н. Низамов
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Россия
gtr_timur@mail.ru

Возникновение патологических процессов при чрезвычайных ситуациях (ядерных взрывах и радиационных авариях) вызвало необходимость разработки специфических и неспецифических методов лечения возникающих радиационно-термических поражений.

Цель данного исследования – лечение термической травмы, полученной на фоне радиационного поражения животных.

Материалы и методы. Моделирование лучевого поражения проводили на гамма-установке «Пума» с мощностью экспозиционной дозы 5,49 Р/мин ($8,5 \times 10^{-2}$ А/кг) в дозе 7,0 Гр. Нешокогенную термическую травму наносили тотчас после воздействия радиационного фактора, путем наложения на выстриженную кожную поверхность верхней трети бедра латунного «пяточка», нагретого в специальном устройстве до температуры 180° С с экспозицией в течение 7 секунд. Эксперименты проводились на 25 белых крысах средней массой тела 180-220 г, разделенных на опытные и контрольные группы по 5 голов в каждой, по схеме: 1-я – облучение - ожог - лечение препаратом на основе ихтиола, димексида и вазелина; 2-я – облучение - ожог - лечение линиментом синтомицина-контроль препарата; 3-я - ожог без лечения; 4-я - контроль облучения; 5-я - интактные животные. За опытными и контрольными животными вели ежедневное клиническое наблюдение.

Результаты. У крыс 1-й группы на 15 сут наступало полное отторжение струпа с ярко выраженной линией демаркации и с частичной эпителизацией раневой поверхности. В группе контроля препаратов полное отторжение струпа отмечено у одного животного, частичное - у двух и его отсутствие у двух крыс. На 20-е сут в 1-й опытной группе отмечалось уменьшение площади ожога, грануляция была более выраженной. В группе контроля препарата (линимент синтомицина) у 2-х животных из пяти струп был отторгнут частично, грануляционная ткань темно-бордового цвета. У одной крысы из 3-й группы, не получавшей лечения, струп был сохранен полностью. Площадь заживления ожоговых ран на 25 сут у крыс 1-й группы составляла в среднем 70%, 2-й – 25%; в группе контроля лечения площадь нанесенной термической травмы не уменьшалась. На 28-е сут эксперимента у трех из 4 крыс, подвергнутых лечению разработанным препаратом, зарегистрировано полное заживление ран, у одной – на 90%; в группе контроля препарата отмечалось нагноение у одного животного, при заживлении от 50 до 60% раневых поверхностей у оставшихся четырех. У крыс, не получавших лечение, эпителизация отмечалась на 50 % пораженной поверхности с признаками вторичного воспаления. На 39-е сут с момента лучевого воздействия и нанесения ожогов площадь заживления термических травм у крыс 1-й группы – 98%, у животных контроля препаратов – 87%, в 3-й группе – 50 %, на 47-е сут степень заживления ожоговых ран составляла 99; 90 и 72,5% соответственно.

На 60-е сут с начала эксперимента у животных всех групп наступило полное заживление термических травм, нанесенных на фоне радиационного воздействия.

Выводы. В результате проведенных исследований отобрана мазь для лечения комбинированного радиационно-термического поражения, которая способствовала более ранней эпителизации ран без признаков вторичного воспаления и полному заживлению (Патент RU 2678994, С1, опуб. 05.02.2019. Бюл. № 4).

**ПИЩЕВЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ МИЦЕЛИЯ ВЕШЕНКИ ОБЫКНОВЕННОЙ
«ГРИБНОЙ ЧУДОДЕЙ®» И «ТАЙНА ВЕШЕНКИ®» И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
ОРГАНИЗМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ
ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ РАДИОСТРОНЦИЕМ**

В.П.Герасименя^{1,2}, С.В.Захаров^{1,2}, Т.И.Милевич¹

¹ООО «Инбиофарм», Москва, Россия

²Федеральный исследовательский центр химической физики

им. Н.Н.Семенова РАН, Москва, Россия

gerasimenia_v_p@mail.ru

Опыт проведенных исследований ООО «Инбиофарм» в сотрудничестве с учеными и специалистами ФИЦ ХФ РАН и ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси» в области совершенствования и создания новых способов и средств противолучевой защиты организма человека показывает, что среди наиболее перспективных сорбционно-активных материалов особое место занимают биологически активные вещества, полученные из мицелия гриба вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) (Fr.) Kumm.

Целью данного исследования является изучение влияния разработанного препарата в виде «Пищевого концентрата, обогащенного природными антиоксидантами», полученного из мицелия *Pleurotus ostreatus*(Fr.) Kumm (штамм 1137, ВКПМ F819), на состояние органов и тканей крыс, которым вводили радиоактивный раствор ⁹⁰Sr.

Материалы и методы. Испытываемый препарат. 3 группы опытных животных: группа 1 – интактный контроль; группа 2 – введение ⁹⁰Sr (37 Бк/г в/ж однократно); группа 3 – введение ⁹⁰Sr (37 Бк/г в/ж однократно) и препарата (500 мг/кг перорально в течение 5 дней). Для изучения влияния инкорпорированных изотопов на состояние систем, органов и тканей экспериментальным животным однократно в/ж вводили 1 мл раствора ⁹⁰SrCl₂ в дозе 37 Бк/г. Содержание ⁹⁰Sr в органах и тканях животных определяли методом радиометрического анализа. Наблюдение за животными осуществляли в течение 90 суток после введения ⁹⁰Sr. Степень радиационного поражения органов и тканей оценивали по изменению некоторых общепатологических показателей: с контролем массы тела животных (г); индекса массы селезенки (г/кг); индекса массы печени через 5, 10, 30, 90 суток после введения 1 мл раствора ⁹⁰SrCl₂ в дозе 37 Бк/г.

Результаты. Применяемые препараты мицелия вешенки у облученных животных проявили умеренный нормализующий эффект на изучаемые показатели индексов массы селезенки и печени после введения ⁹⁰Sr в течение всего пострadiационного периода, в отличие от сниженных показателей при поражении тканей этих органов инкорпорированным ⁹⁰Sr животных группы 2. При этом прирост массы тела на 90-е сутки в опытной группе 3 составил 50,1г., в отличие от прироста массы в группе 2, равной 46,1 г.

Выводы. Препараты, полученные из мицелия гриба «вешенка обыкновенная», обладают неспецифической защитой по отношению негативного действия радиостронция на организм экспериментальных животных и могут применяться в качестве лечебно-профилактических средств при противолучевой защите организма человека. В настоящее время ООО «Инбиофарм» зарегистрированы в Российской Федерации 2 новые формы пищевых концентратов, обогащенных природными антиоксидантами, под товарными марками «Грибной чудодей®» (ТУ 9190-036-87552538-15 и «Тайна вешенки®» (ТУ 9190-037-87552538-15).

ПРОФИЛАКТИКА И ЭКСТРЕННАЯ ТЕРАПИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В. Д. Гладких, К. Н. Филин

НПЦ «Фармзащита» ФМБА России, г. Химки, Россия

Gladkich2007@rambler.ru

Для профилактики и лечения различных состояний, сопровождающих реализацию эффектов радиационного воздействия, к настоящему времени апробирован широкий спектр противолучевых средств (ПЛС) различного механизма действия. Учитывая, что существующие препараты не всегда отвечают требованиям по эффективности и переносимости, в нашей стране и за рубежом продолжается изыскание новых ПЛС.

Разработка ПЛС сосредоточена преимущественно на скрининге химических соединений, проявляющих антиоксидантную активность, свойства ингибиторов NO-синтазы и апоптоза, индукторов ферментов репарации ДНК, стимуляторов гемо- и иммунопоеза и др. механизмы противодействия радиационной патологии. Вектор направленности научно-технологических разработок ПЛС за рубежом в целом совпадает с направлениями совершенствования средств противорадиационной защиты, проводимыми в Российской Федерации. В нашей стране к наиболее перспективным ПЛС относятся препараты на основе обратимых субстрат-подобных ингибиторов NO-синтазы в ряду S-[2-алкил(арил)сульфонил]-производных S-этил(винил)-изотиомочевины (разработчик МРНЦ им. А.Ф. Цыбы), рекомбинантный флагеллин – аналог американского *Entolimod*TM (разработчик ГосНИИ ОЧБ, ГНЦ ФМБА им. А.И. Бурназяна, Институт экспериментальной медицины), водорастворимая лекарственная форма 5-андростенедиола (разработчик НПЦ «Фармзащита»).

К перспективным направлениям создания ПЛС можно отнести:

- разработку новых лекарственных форм и способов их введения в организм с целью повышения биодоступности, пролонгации противолучевого эффекта, снижения побочных эффектов (например, «таргентные» формы ПЛС, обеспечивающие направленную доставку активных молекул к конкретным органам, клеткам и клеточным органеллам и пр.);

- разработку радиозащитных рецептур, позволяющих потенцировать противолучевой эффект, снизить токсичность, купировать побочные эффекты, получить полифункциональные препараты, сочетающие свойства радиопротекторов, радиомитигаторов, средств лечения ОЛБ (в частности, комбинированные препараты на основе ингибиторов NO-синтазы с другими радиомитигаторами и средствами лечения ОЛБ, комбинации супероксиддисмутазы и рекомбинантных антагонистов цитокинов, позволяющие «выключить» сразу несколько ключевых патогенетических звеньев и пр.);

- отбор потенциальных ПЛС среди лекарственных препаратов общемедицинского применения (серо- и йодсодержащие препараты, альфа-адреномиметики, иммуностимуляторы и пр.) и расширение их клинических показаний.

Основными условиями для решения стоящих задач являются:

- организация тесной межведомственной координации по всем аспектам нормативно-правового и научно-производственного процесса совершенствования медикаментозной системы противолучевой защиты;

- должное финансирование и стимулирование процесса разработок и постановки на производство средств профилактики и терапии радиационных поражений.

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ИНКОРПОРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В. Д. Гладких

НПЦ «Фармзащита» ФМБА России, г. Химки, Россия

Gladkich2007@rambler.ru

Среди продуктов ядерного деления, образующихся при авариях на радиационно-опасных объектах, применении ядерного оружия, актах ядерного и радиологического терроризма, основную опасность в качестве источников внутреннего облучения представляют радиоизотопы йода, цезия, стронция, плутония, урана и трансурановых элементов. Медикаментозная профилактика и терапия поражений при инкорпорации радионуклидов направлена на сокращение времени их нахождения в организме и ускорение процесса элиминации посредством фармакологических средства защиты.

В докладе рассматриваются вопросы состояния и перспектив развития специфических фармакологических средства защиты от инкорпорации радионуклидов. Приводится характеристика разрешенных к применению в Российской Федерации противолучевых лекарственных средств (калия йодид, ферроцин, пентацин, унитиол и др.), позволяющих предотвращать депонирование большинства из значимых радионуклидов в «критических» органах и/или ускорять их элиминацию из организма, показатели их эффективности, побочные эффекты, противопоказания, ограничения в применении. Рассматриваются механизмы (изотопное разбавление, адсорбция, ионный обмен и комплексообразование), лежащие в основе разработок средств медицинской защиты от внутреннего облучения, а также актуальные направления развития системы фармакологической защиты от инкорпорации радионуклидов.

К ближнесрочным задачам совершенствования системы медикаментозной защиты от инкорпорации радионуклидов следует отнести разработку лекарственных форм и получение разрешения к медицинскому применению цинк тринатриевой соли диэтилентриаминпентауксусной кислоты (Zn-DTPA). В качестве аргумента приводятся экспериментально-клинические данные, характеризующие токсичность и специфическую активность Ca-DTPA (препарат пентацин) и Zn-DTPA (цинкацин) в режимах монотерапии и сочетанного применения при различных путях введения.

К среднесрочным и дальним перспективам совершенствования лекарственных средств специфической защиты от инкорпорации радионуклидов относятся:

- изучение совместимости препаратов различного механизма действия при сочетанных радиационных поражениях от внешних и внутренних источников радиации и разработка схем профилактики и лечения;
- разработка новых лекарственных форм существующих лекарственных средств (порошкообразные лекформы пентацина для перорального введения и самостоятельных разовых ингаляций; системы направленного транспорта, замедленного высвобождения и пролонгированного действия комплексонов на основе наночастиц, липосомы и пр.);
- разработка инновационных эффективных и безопасных средств выведения радионуклидов из организма (в частности, синтетические аналоги микробных сидерофоров - мультидентатные гидроксипиридонаты).

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК К ПИЩЕ, СНИЖАЮЩИХ РИСК РАЗВИТИЯ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В. Д. Гладких, С. Н. Романенко

НПЦ «Фармзащита» ФМБА России, г. Химки, Россия

Gladkich2007@rambler.ru

Радиационное воздействие при длительном космическом полете за пределы низкой околоземной орбиты провоцирует развитие злокачественных новообразований. По данным NASA, риск смертности от опухолей увеличивается с 0,44 % при естественном радиационном фоне до 3 % и более при воздействии ионизирующих излучений (ИИ) в ходе длительного космического полета. Одним из потенциальных направлений предотвращения развития отдаленных последствий воздействия ИИ является использование фармакологических средств защиты. Однако лекарственные препараты, предназначенные для профилактики канцерогенного действия ИИ, к настоящему времени не зарегистрированы ни в России, ни за рубежом.

В эксперименте у целого ряда биологически активных веществ выявлена способность снижать риск развития радиационно-индуцированных опухолей, что обуславливает возможность разработки биологически активных добавок к пище (БАД), повышающих резистентность организма к длительному низкодозовому радиационному воздействию и снижающих риск развития радиационных опухолей.

В докладе рассматриваются перспективы разработки БАД на основе полифенольного лиганда ВР-Сх-1 (содержащего высокозамещённые полифенолы: флавоноиды, фенантрены, сапогенины), получаемого из гидролизного лигнина по отечественной технологии. Фармакологические эффекты ВР-Сх-1 обусловлены воздействием на глюкокортикоидные и серотониновые рецепторы, его антиоксидантным действием, активацией роста стволовых клеток в различных тканях и продукции факторов роста G-CSF и GM-CSF дендритными клетками, а также изменением иммунофенотипа ДНК дендритных клеток после облучения.

В качестве дополнительных компонентов БАД предлагаются растительные биофлавоноиды, в частности ресвератрол (3,4-тригидрокси-трансстильбен), в механизме радиомитигирующего действия которого основную роль играет стимуляция экспрессии сиртуинов, обладающих гистондеацетилазной или монорибозилтрансферазной активностью.

ВЛИЯНИЕ РОНКОЛЕЙКИНА В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ЛЕЧЕНИЯ НА ТЯЖЕСТЬ ТЕЧЕНИЯ И ИСХОДЫ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ

Д. К. Глинка, И. С. Драчев, А. Ю. Кондаков, Д. В. Ремизов

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной
медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
gniii_2@mil.ru

Комбинированные радиационно-механические поражения (КРМП) обусловлены действием механических факторов и ионизирующих излучений в поражающих дозах. Комбинация радиационного поражения и механической травмы (раны) приводит к более тяжелому течению поражений, чем раздельное воздействие поражающих факторов. Существующие в настоящее время фармакологические средства не позволяют полностью решить проблемы лечения комбинированных радиационных поражений, обусловленные взаимоотношением компонентов КРМП. Определенные перспективы в решении задач лечения лучевого компонента могут быть связаны с использованием препарата интерлейкина-2 – Ронколейкина. Способность Ронколейкина индуцировать рост, дифференцировку и пролиферацию иммунокомпетентных клеток, позволяет ожидать у этого лекарственного средства способность к подавлению бактериальной инфекции и ускорению заживления раны.

Целью данного исследования явилось изучение влияния Ронколейкина на тяжесть течения и исходы комбинированного радиационно-механического поражения (КРМП) при различных схемах применения препарата.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на белых беспородных крысах, облученных в дозе $CD_{50/30}$ на гамма-установке «ИГУР-1» (^{137}Cs) при мощности дозы 0,98 Гр/мин. Через 5–10 мин после облучения наносили полнослойную резаную рану кожи площадью 7–10 % поверхности тела. Ронколейкин вводили внутривенно в дозе 50000 ЕД / кг после моделирования КРМП в различных схемах (через 30 мин; 30 мин и 4 ч; на 1, 4, 7 сут). Эффективность применения препарата оценивали по выживаемости, средней продолжительности жизни павших животных (СПЖ) и скорости заживления кожной раны.

Результаты. Применение Ронколейкина через 30 мин после нанесения КРМП не влияло на показатель выживаемости крыс в сравнении со значением в группе животных, не получавших препарат, при этом СПЖ увеличивалась лишь на 9 % – до $17,0 \pm 1,4$ сут. Динамика массы тела животных и скорость заживления раны не отличались от значений, зарегистрированных у животных в группе без лечения, и составляли 3 % и $6,3 \pm 2,0$ % в сутки, соответственно. Применение Ронколейкина у животных с КРМП через 30 мин и 4 ч способствовало повышению выживаемости крыс на 30 %, а СПЖ – на 50 % до $24,0 \pm 1,8$ сут по сравнению с контролем. Скорость заживления ран увеличивалась на 37 % и составляла $9,9 \pm 2,2$ % в сутки. Масса тела крыс с КРМП, получавших лечение по такой схеме была на 9% выше по сравнению с показателем у животных контрольной группы. Введение Ронколейкина на 1, 4, 7 сут после КРМП повышало выживаемость животных на 20 %, а СПЖ на 34 % до $18,1 \pm 1,9$ сут. Скорость заживления раны соответствовала значениям, зарегистрированным в контрольной группе, однако масса тела крыс была выше на 12 %, по сравнению с животными, не получавшими лечение.

Вывод: Ронколейкин обнаружил свойства и возможности оптимизации противолучевого действия, что делает перспективным его дальнейшее изучение как средства лечения КРМП.

ДОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ФАРМАКОЛОГИИ

А. Н. Гребенюк

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. И.П. Павлова, Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический
университет, ООО «СпецМедТехника», г. Санкт-Петербург, Россия
grebenyuk_an@mail.ru

Расцвет радиационной фармакологии пришелся на 50-80-е годы XX века, когда, в связи с наличием ядерного оружия в арсенале стран НАТО и Варшавского Договора, в СССР, США, Великобритании, Франции, Чехословакии и ряде других стран проводились широкомасштабные работы по созданию радиопротекторов. Считалось, что наличие подобного препарата на оснащении Вооруженных Сил даст его счастливому обладателю неоспоримые преимущества в случае начала ядерной войны. За этот период на радиозащитную эффективность были изучены сотни тысяч различных молекул и субстанций, но в результате до практического внедрения дошли лишь единицы – амифостин, цистамин, индралин. Наряду с радиопротекторами, шли работы по созданию антидотов радиоактивных веществ, основным результатом которых стало внедрение в практику калия йодида, солей диэтилентриаминпентаацетата (Ca-DTPA, Zn-DTPA, пентацин) и железа гексацианоферрата (пруссский синий, ферроцин). В нашей стране также разрабатывали средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение, в странах НАТО эти разработки не рассматривались в качестве приоритетных. Радиационные катастрофы в Чернобыле и Гойании простимулировали исследования в области гемопозитических цитокинов, в результате чего через некоторое время появилась группа радиозащитных препаратов, известная в настоящее время как радиомитигаторы; но и здесь до практического внедрения дошли лишь единицы из тысяч изученных биологических и химических субстанций (Г-КСФ, ГМ-КСФ, ИЛ-3, беталейкин). В начале XXI века интерес к созданию новых радиозащитных препаратов заметно снизился, не смогла его поддержать даже радиационная катастрофа в Фукусиме. Связано это, вероятно, не только с социально-политическими и экономическими факторами, но и с чисто научными проблемами – вновь создаваемые препараты существенно не отличались, а чаще даже уступали по эффективности уже существующим средствам. В результате – снижение доли заказной научной тематики, сокращение финансирования исследований, уменьшение числа научных центров и ученых, занимающихся проблемами радиационной фармакологии. Тем не менее, перспективы развития у отечественной радиационной фармакологии сохраняются, и связаны они, по мнению автора, с переориентацией существующего вектора исследований в сторону фармакологического сопровождения терапии злокачественных новообразований. В докладе будут приведены сведения об истории, достижениях, современном состоянии и проблемах отечественной радиационной фармакологии, а также аргументы в пользу возможных путей ее дальнейшего развития.

ВЛИЯНИЕ ЭДАРАВОНА НА ТЕЧЕНИЕ КОСТНО-МОЗГОВОГО СИНДРОМА ОСТРОГО РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ

О.А. Данилова, И.С. Драчёв, Е.Б. Супрунова, Е.А. Якунчикова

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной
медицины, Санкт-Петербург, Россия,
Gniii_2@mil.ru

В исследованиях зарубежных авторов (К. Anzai et al., 2004; L. Chen et al., 2015) показана высокая противолучевая эффективность 1-фенил-3-метил-5-пиразолона, (эдаравона). Препарат относится к группе нейтропротекторов и используется в терапии ишемического инсульта, бокового амиотрофического склероза и других заболеваний нервной системы. Препарат обладает выраженными антиоксидантными свойствами и способен предотвращать апоптоз (К. Watanabe et al., 2017). В наших предварительных исследованиях подтверждены противолучевые свойства эдаравона при гамма-облучении мышей в дозах 7–9 Гр, что является указанием на возможное влияние препарата на патогенетически значимый механизм развития острого лучевого поражения - костномозговой синдром.

Цель исследования состояла в изучении влияния эдаравона на динамику показателей периферической крови облучённых крыс.

Материалы и методы. Исследования выполнены на белых беспородных крысах-самцах. Животных подвергали общему относительно равномерному гамма-облучению на установке ИГУР-1 в дозе 5,5 Гр. Суспензию препарата на твин-80 вводили крысам однократно внутривентрально в дозе 100 мг/кг или 225 мг/кг за 30 мин до облучения. Животным контрольной группы в те же сроки вводили раствор твина-80 с водой. До облучения, а также на 3, 10, 14 и 21 сут после облучения из надреза хвоста забирали периферическую кровь для проведения общеклинического анализа крови.

Результаты. У животных контрольной группы на 3-сут после облучения количество лейкоцитов уменьшалось в 1,7 раза и составляло $5,6 \times 10^9/\text{л}$ (количество лимфоцитов снижалось с $5,1 \times 10^9/\text{л}$ до $2,6 \times 10^9/\text{л}$, а гранулоцитов с $2,9 \times 10^9/\text{л}$ до $1,8 \times 10^9/\text{л}$). К 10-м суткам наблюдали незначительное увеличение количества лейкоцитов до $8,9 \times 10^9/\text{л}$, в основном за счет гранулоцитов, количество которых возрастало в 2,7 раза. На 14 сут количество лейкоцитов в группе контроль состояло $12,2 \times 10^9/\text{л}$, а к 21 сут значение показателя достигало «нормальных» значений и составляло $20,5 \times 10^9/\text{л}$. Профилактическое введение эдаравона способствовало более быстрому восстановлению количества клеток периферической крови у облученных крыс. Так, при введении препарата в дозе 100 мг/кг количество лейкоцитов на 3 сут было в 1,3 раза выше, чем у животных контрольной группы и составляло $7,7 \times 10^9/\text{л}$ (количество лимфоцитов и моноцитов – 4,7 и $1,2 \times 10^9/\text{л}$, соответственно). На 14 сут количество лимфоцитов превосходило данный показатель в контрольной группе в 1,5 раза и составляло $5,6 \times 10^9/\text{л}$. Менее эффективным оказалось введение препарата в дозе 225 мг/кг. Несмотря на общее увеличение количества лейкоцитов у крыс данной экспериментальной группы, по сравнению с группой «контроль облучения», достоверных различий ($p < 0,05$) обнаружить не удалось. Лишь на 14 сут. количество лимфоцитов значимо превышало показатели контрольной группы в 1,5 раза и составляло $5,4 \times 10^9/\text{л}$.

Выводы. Профилактическое введение препарата эдаравон способствует восстановлению лейкоцитопоза у облучённых животных, что приводит к более легкому течению костномозгового синдрома острого радиационного поражения. Доза эдаравона 100 мг/кг превосходит по эффективности дозу 225 мг/кг, что может быть учтено в дальнейших исследованиях для оптимизации применения препарата.

**ЛЕЧЕБНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИНГЕННЫХ КУЛЬТИВИРОВАННЫХ
МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК (ММСК) И КЛЕТОК
СТРОМАЛЬНО-ВАСКУЛЯРНОЙ ФРАКЦИИ (СВФ) ЖИРОВОЙ ТКАНИ ПРИ
ТЯЖЕЛЫХ МЕСТНЫХ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЯХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Ю.Б. Дешевой, В.Г. Лебедев, Т.А. Насонова, О.А. Добрынина, А.В. Лырищикова,

Т.А. Астрелина, Б.Б. Мороз

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России,

Москва, Россия

iury.deshevoi@yandex.ru

В настоящее время активно разрабатываются и начинают применяться в клинике методы клеточной терапии тяжелых местных лучевых поражений. Причем такие подходы применимы как в фазу разгара болезни, так и в период отдаленных последствий.

Целью данного исследования являлось сравнение в одном эксперименте эффективность культивированных ММСК и свежeweделенных клеток СВФ жировой ткани при лечении тяжелых местных лучевых поражений.

Материалы и методы. Эксперименты выполнены на крысах самцах инбредной линии Wistar-Kyoto. Животных подвергали локальному воздействию рентгеновского излучения в подвздошно-поясничной области спины в дозе 110 Гр (напряжение на трубке 30 кВ, сила тока 6,1 мА, фильтр 0,1 мм Al), при мощности дозы 20,0 Гр/мин. Площадь облучения на поверхности кожи – 8,5 см². Радиационное воздействие приводило к развитию тяжелых поражений кожи с длительно (до 3,5–4 месяцев) незаживающими лучевыми язвами без критической лучевой нагрузки на подлежащие ткани. Трансплантации различных клеток проводили двукратно на 27 и 34 сутки после облучения, то есть в период, когда в ране начинают преобладать регенераторные процессы. Суспензию ММСК или клеток СВФ в 1 мл стерильного раствора Хенкса вводили под кожу в 5 точек вокруг зоны поражения, отступив 5 мм от края очага. Число трансплантированных клеток при одном введении составляло: ММСК – $2,8 \times 10^6$ и СВФ – $2,7 \times 10^6$.

Результаты. Клеточная терапия снижала тяжесть течения местных лучевых поражений. Показано, что двукратное введение ММСК стимулировало заживление лучевых язв. Так, в период с 56 по 99 сутки после облучения площадь язв у леченных животных была на 15 – 67 % меньше, чем у облученного контроля. Трансплантации клеток СВФ на 27 и 34 сутки после воздействия радиации также оказывали лечебный эффект. Динамика заживления лучевых язв у животных с введением СВФ была близка к таковой при введении ММСК.

Выводы. Полученные результаты показывают, что как сингенные культивированные ММСК, так и сингенные свежeweделенные клетки стромально-васкулярной фракции жировой ткани могут с успехом применяться при лечении тяжелых местных лучевых поражений. Лечебная эффективность ММСК и клеток СВФ была примерно одинакова.

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ИССЕЧЕНИЕ ЛУЧЕВОЙ ЯЗВЫ В СОЧЕТАНИИ С КЛЕТОЧНОЙ ТЕРАПИЕЙ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЛЕЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ КОЖИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Ю.Б. Дешевой, В.Г. Лебедев, Т.А. Насонова, О.А. Добрынина, А.В. Лырицкова, Т.А. Астрелина, Б.Б. Мороз

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России,
Москва, Россия

Консервативные методы лечения тяжелых местных лучевых поражений часто являются малоэффективными. В таких ситуациях нередко требуется хирургическое вмешательство. Одним из перспективных методов лечения тяжелых лучевых ожогов является клеточная терапия, которая, по-видимому, может сочетаться с другими способами лечения.

Целью данного исследования являлось изучение лечебной эффективности комбинированного способа лечения тяжелых местных лучевых поражений - сочетание хирургического метода и клеточной терапии.

Материалы и методы. Опыты проведены на крысах самцах инбредной линии Wistar-Kyoto массой 230-250 г. Животных облучали на рентгеновской установке локально в подвздошно-поясничной области спины в дозе 110 Гр (напряжение на трубке 30 кВ, сила тока 6,1 мА, фильтр 0,1 мм Al), при мощности дозы 17,3 Гр/мин. Площадь поля облучения - 8,2 см². Глубинное распределение дозы, проведенное на тканеэквивалентном фантоме, показало, что в этих условиях доза рентгеновского излучения на глубине 2 мм была порядка 30 Гр, а на глубине 5-10 мм – не более 10 Гр. Такое радиационное воздействие позволяло получать тяжелые поражения кожи у крыс с длительно незаживающими язвами, причем без критической лучевой нагрузки на подлежащие ткани. Морфологическое исследование показало, что область некроза кожи (с максимумом в центре зоны облучения) формировалась к 21-23 суткам после облучения и характеризовалась наличием выраженных изменений во всех слоях кожи. Хирургическое иссечение лучевой язвы выполняли на 22-23 сутки после воздействия радиации. Пораженная ткань удалялась на всю глубину кожи вплоть до фасции скелетных мышц. Иссечение кожи проводили, отступив 5-7 мм от внешней границы лучевой язвы. Сингенные трансплантации различных клеток проводили двукратно через 5 и 12 суток после иссечения язвы. Суспензию мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток (ММСК) или клеток стромально-васкулярной фракции (СВФ) жировой ткани в 1 мл стерильного раствора Хенкса вводили под кожу в 5 точек вокруг зоны иссечения, отступив 5-7 мм от края очага. Количество введенных клеток при одной трансплантации составляло: ММСК - $1,1 \times 10^6$ и СВФ – $2,5 \times 10^6$.

Результаты. Площадь лучевых язв у крыс контрольной группы в период с 27-х по 105-х сутки после облучения медленно уменьшалась с $2,8 \pm 0,2$ см² до $1,2 \pm 0,16$ см². Иссечение лучевых язв приводило к быстрому полному видимому заживлению раневого дефекта (уже к 70 суткам после облучения) с образованием атрофических рубцов. Трансплантация сингенных клеток СВФ усиливало скорость заживления хирургической раны, а введение ММСК влияния не оказывало.

Выводы. Полученные результаты показывают, что хирургическое иссечение лучевых язв в сочетании с клеточной терапией может оказаться эффективным способом лечения тяжелых местных лучевых поражений.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕПАРАТА СЕЛЕНОКСАНТЕН НА ПОКАЗАТЕЛИ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В КЛЕТКАХ ПЕЧЕНИ И МОЧЕ ОБЛУЧЕННЫХ КРЫС

Л.А. Дзиковская, Т.И. Иванова, Е.С. Дегтярева

МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,
Обнинск, Россия
ldzik@yandex.ru

Дефицит йода и селена у населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях, обусловил необходимость разработки новых препаратов для комплексной профилактики микронутриентной недостаточности. Селеносодержащие препараты – потенциальные радиопротекторы, основной механизм защитного действия которых связан со стимуляцией активности глутатионпероксидазы, снижающей уровень токсичных кислородсодержащих продуктов в облученных клетках. Защита здоровых клеток организма от облучения, сопровождающегося повышением продукции активных форм кислорода (АФК), инициацией перекисного окисления липидов (ПОЛ) и снижением активности антиоксидантной системы, имеет большое значение для радиационной медицины. Ускорение ПОЛ, маркёром которого является уровень малондиальдегида (МДА) – один из факторов дестабилизации мембран, что может, в частности, стать причиной угнетения детоксикационной функции печени.

Цель данного исследования - оценка влияния препарата Селеноксентен (Компания ООО "НИК Медбиофарм") на уровни содержания АФК в клетках печени и экскреции МДА в моче крыс, облученных в дозе 4 Гр.

Материалы и методы. Для оценки влияния исследуемого препарата на показатели оксидативного стресса были определены уровни содержания как АФК в клетках печени, так и МДА в моче крыс линии Вистар. Облучение животных γ -квантами ^{60}Co дозой 4 Гр проводили на установке "Гаммацелл-220" (Канада) при мощности дозы 0.2 Гр/мин. Дизайн эксперимента включал 3 группы животных: 1 – без облучения; 2 – ежедневное внутрижелудочное введение препарата в дозе 50 мг/кг по Селеноксентену за три дня до облучения; 3- облучение. Мочу животных собирали в контейнеры в течение двух суток, измеряли ее объем и определяли концентрацию МДА по методу Buege J.A. (1978). Влияние препарата на содержание АФК определяли флуориметрическим методом с использованием 2,7- дихлорофлуоресцеин диацетата (H_2DCFDA), образующего флуоресцентный продукт, 2', 7'- дихлорфлуоресцеин (DCF). Суспензию гепатоцитов вносили в 96-луночный микропланшет и инкубировали при 37°C в течение 60 минут. Лунки содержали 10^6 клеток в фосфатно-солевом буфере (0,14 моль/л NaCl , 20 ммоль/л фосфатный буфер, pH 7,4) и 50 мкМ флуоресцирующего зонда. Флуоресценцию регистрировали на спектрофлуориметре «Панорама» (НПО ЛОМО, Россия) с фильтрами возбуждения и эмиссии 485 и 521 нм соответственно.

Результаты. У интактных животных содержание МДА в моче, составляло $0,172 \pm 0,012$ мкМ; уровень генерации АФК в клетках печени - $0,791 \pm 0,025$ (относительные единицы люминесценции DCF). Облучение изменяло эти показатели на 50% и 10% соответственно ($p < 0,05$). Ежедневное внутрижелудочное введение Селеноксентена крысам за три дня до облучения нормализовало уровень двухдневной экскреции МДА с мочой и скорость генерации АФК в клетках печени ($0,122 \pm 0,005$ мкМ и $0,829 \pm 0,051$ относительных единиц соответственно).

Выводы. Данные свидетельствуют о возможности использования препарата Селеноксентен в качестве перорального радиопротекторного и антистрессового лекарственного средства.

ТОШНОТА И РВОТА, ИНДУЦИРОВАННАЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ, – СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

И.С. Драчев

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной
медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
gniii_2@mil.ru

Тошнота и рвота (эметический синдром) – одни из основных нежелательных адверсивных эффектов лучевой терапии. Среди главных факторов, требующих врачебного вмешательства для ослабления и устранения постлучевого эметического синдрома – длительная продолжительность курса радиотерапии при онкозаболеваниях (не менее 4–7 нед.). При этом продолжительные тошнота и рвота в отсутствие соответствующего лечения могут способствовать развитию таких осложнений как дегидратация, расстройства электролитного баланса и метаболизма, что в свою очередь может быть причиной прерывания курса радиотерапии и чревато угрозой рецидива потенциально курабельной опухоли.

К настоящему времени определены основные факторы, определяющие частоту и тяжесть пострadiaционного эметического синдрома. Показано, что к числу таких факторов относятся вид и площадь облучаемого сегмента тела. Наиболее высок риск развития синдрома при тотальном облучении; облучении верхней половины тела; области живота и таза, значительного числа лимфоузлов; областей головного мозга, прилежащих к *area postrema*. Имеет значение и размер участка тела, подвергающегося радиационному воздействию (более 400 см²).

В значительной степени расшифрованы нейрофизиологические механизмы эметического синдрома, индуцированного облучением. Показана, в частности, ведущая роль блуждающего нерва в реализации синдрома, участие биогенных аминов (серотонин, дофамин, гистамин), опиоидных пептидов, простагландинов и других эндогенных нейротрансмитеров, также некоторых гормонов и ферментов (ангиотензин, холецистокинин, вазоинтестинальный пептид и др.) в механизмах постлучевой тошноты и рвоты. Это в свою очередь способствовало появлению на фармацевтическом рынке новых высокоэффективных средств профилактики и купирования эметического синдрома.

Показано, что в настоящее время наиболее эффективными антиэметиками при лучевом эметическом синдроме являются антагонисты 5–НТ₃ рецепторов доласетрон, трописетрон, ондансетрон и др., обеспечивающие до 90 % защиты от тошноты и рвоты радиационной этиологии. Разработаны рекомендации по использованию оптимальных схем профилактики и купирования эметического синдрома, вызванного различными по эметогенности вариантами лучевой терапии: 5–НТ₃ антагонисты с дексаметазоном (высокоэметогенное облучение); 5–НТ₃ антагонисты с дексаметазоном или дофаминоблокаторы D₂ типа с 5–НТ₃ антагонистом (умеренноэметогенное облучение); дофаминоблокаторы D₂ типа с 5–НТ₃ антагонистом (низкоэметогенное облучение); глюкокортикоиды (минимально-эметогенное облучение).

ОЦЕНКА РАДИОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ 9-ФЕНИЛ-СИМ-ОКТАГИДРОСЕЛЕНОКСАНТЕНА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА КОЛОНИЕОБРАЗУЮЩИХ ЕДИНИЦ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕЙ

К.Т. Еримбетов, А.Я. Гончарова, Е.В. Бондаренко, Т.И. Хомякова
ООО Научно-исследовательский центр «Парк активных молекул», Обнинск,
Россия
erimbetovkt@mail.ru

Лучевая терапия относится к основным методам лечения онкологических заболеваний. Поскольку при использовании этого метода лечения происходит повреждение не только опухолевых, но и нормальных клеток больного организма, в частности кроветворных, приходится снижать дозы облучения или укорачивать сроки их применения, что, в конечном счете, приводит к снижению эффективности лечения. Для защиты нормальных клеток организма предлагается новый радиопротекторный препарат 9-фенил-сим-октагидроселеноксентен с механизмом действия, позволяющим сохранить пул кроветворных клеток, устойчивых к действию излучения и способных достаточно быстро восстановить численность функционально активных клеток крови.

Целью данного исследования является изучение радиопротекторных свойств 9-фенил-сим-октагидроселеноксанта на экспериментальной модели адаптивного ответа колониобразующих единиц костного мозга мышей.

Материалы и методы. В экспериментах использовали мышей двух линий - (CBA x C57Bl/6)F1 и (DBA x C57Bl/6)F1 самок. Облучение проводили на радиотерапевтической установке «Луч-1» гамма лучами ^{60}Co при мощности дозы 0,9 Гр/мин. Соединение 9-фенил-сим-октагидроселеноксанта вводили мышам-донорам костного мозга *per os*, в дозах 1,0, 5,0, 10 или 20 мг/кг в 0,2 мл масляного раствора за 1 или 3 или 7 или 14 суток до облучения повреждающей дозой. В качестве повреждающих были использованы следующие дозы облучения: 1,5, 2,0, 3,0 или 5,0 Гр. Через 10-15 мин после облучения извлекали костный мозг, готовили суспензию клеток и вводили летально облученным мышам-реципиентам (8 Гр) той же линии для определения их колониобразующей активности методом экзогенных селезеночных колоний (КОЕ-С). Через 9 суток мышей умерщвляли, извлекали селезенки и подсчитывали число колоний.

Результаты. Введение 9-фенил-сим-октагидроселеноксанта мышам-донорам в дозе 5,0 мг/кг за 1 или 3 или 7 суток перед облучением в разрешающей дозе 1,5 Гр значительно увеличивает колониобразующую способность клеток костного мозга по сравнению с таковой, наблюдаемой в группе облученных в дозе 1,5 Гр мышей-доноров. При этом отмечена выраженная зависимость от сроков введения препарата: эффект регистрируется через сутки после введения препарата, нарастает к 7-м суткам, и исчезает к 14-м суткам. Минимальное действие (увеличение относительного содержания КОЕ-С в 2 раза по сравнению с облученным контролем) наблюдается при применении 9-фенил-сим-октагидроселеноксанта за 1 сутки до облучения, а максимальный – за 7 суток, когда повреждающее действие ионизирующей радиации на популяцию КОЕ-С ослабляется почти в три раза. Следует заметить, что не наблюдается под влиянием 9-фенил-сим-октагидроселеноксанта изменений в компартменте КОЕ-С у необлученных мышей.

Выводы. Полученные данные свидетельствуют, что 9-фенил-сим-октагидроселеноксанта обеспечивают практически полную защиту предшественников кроветворения от воздействия ионизирующей радиации. Предлагаемый препарат во всех взятых концентрациях, введенный донорам костного мозга без последующего облучения, практически не оказывает влияния на колониобразование.

ВЛИЯНИЕ БЕНЗАМИДА НА АНТИЭМЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАТРАНА

В.В. Зорин, К.С. Мартиросов

Государственный научный центр Федеральный медицинский биофизический
центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

vzorin@rambler.ru

Совершенствование способов предотвращения и купирования тошноты и рвоты, возникающих в ранний период после воздействия ионизирующей радиации, остается одной из важных медицинских задач. Наиболее перспективный путь ее решения — разработка рецептур, содержащих в своем составе средства, усиливающие действие применяемых антиэметиков.

Целью данного исследования является экспериментальное изучение способности бензамида усиливать действие противорвотного препарата латрана в условиях тяжелого лучевого поражения.

Материалы и методы. Эксперименты выполнены на 45 беспородных собаках обоего пола массой 10-17 кг. Для моделирования ранней постлучевой рвоты использовали острое тотальное радиационное воздействие гамма-квантами ^{137}Cs в дозе 20 Гр. Гамма-облучение проводили на установке ИГУР при мощности экспозиционной дозы 1,4 Гр/мин. Регистрацию рвотных актов у подопытных животных осуществляли на протяжении 5 ч после воздействия. Рвотой считали только завершённые акты с экструзией содержимого желудка. В качестве средств профилактики эметической реакции использовали латран и рецептуру, состоящую из латрана и бензамида. Селективный блокатор 5 НТЗ-рецепторов латран во всех опытах вводили в дозе 2,4 мг/кг. Бензамид в составе рецептуры применяли в дозах 25, 37 и 50 мг/кг. Оба лекарственных средства вводили через рот за 1 ч до лучевого воздействия.

Результаты. Установлено, что острое облучение в дозе 20 Гр приводило к развитию у 100% контрольных животных тяжелой рвотной реакции с коротким латентным периодом, продолжавшейся 2-2,5 ч. Среднее число рвотных актов составило 11.

Латран, введенный через рот в дозе 2,4 мг/кг за 1 ч до лучевого воздействия, полностью предотвратил развитие рвоты на весь период наблюдения только у 50% собак. У остальных животных существенно отделились сроки наступления рвоты, уменьшилась ее продолжительность.

При совместном использовании латрана в дозе 2,4 мг/кг и бензамида в дозе 25, 37 или 50 мг/кг число собак с рвотой практически линейно уменьшалось с ростом дозы бензамида и при введении его в дозе 50 мг/кг рвота отсутствовала у всех животных. Параллельно уменьшению числа собак с рвотой по мере роста дозы бензамида в составе рецептуры существенно ослаблялась интенсивность эметической реакции у собак с рвотой (сокращался период, в течение которого наблюдались эметические проявления и уменьшалось среднее число рвотных актов).

Выводы. Эксперименты на животных, подвергнутых воздействию ионизирующих излучений, четко демонстрируют возможность значительного усиления специфической активности латрана путем его совместного применения с бензамидом. Противорвотная активность этого сочетания значительно превосходит эффективность латрана, что свидетельствует о возможности создания более эффективного, чем латран антиэметического препарата.

МЕТОД *IN SILICO* В ИЗУЧЕНИИ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПРОИЗВОДНЫХ НАФАЗОЛИНА

В.С. Иванов¹, Е.В. Ивченко², А.Б. Селезнёв²

¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

² Государственный научно-исследовательский испытательный институт
военной медицины, Санкт-Петербург, Россия
ivanovvs@vmeda.ru

Радиозащитные свойства производных нафазолина были описаны в работах отечественных и зарубежных авторов (Владимиров В.Г. с соавт., 1989; Masasi F., 1962; Mourret A. et al., 1972). Установлено, что препараты на основе нафазолина эффективно ингибируют генерацию односторонних разрывов ДНК, а также является ингибитором гидроксильных радикалов. Радиозащитное действие альфа-адреномиметиков – производных имидазолина, к которым относится нафазолин, связывают с их способностью вызывать локальную циркуляторную гипоксию радиочувствительных органов и тканей, сопровождающуюся снижением pO_2 в костном мозге и слизистой кишечника (Владимиров В.Г., Красильников И.И., 2011). Вместе с тем, некоторые вопросы защитных механизмов «классических радиопротекторов» в последнее время рассматриваются с новых позиций. Возможности современных компьютерных программ позволяют прогнозировать *in silico* достаточно широкий спектр биологической активности исследуемых химических соединений.

Цель исследования состояла в уточнении данных о механизмах радиозащитного действия нафазолина по результатам прогнозирования его биологической активности методом *in silico*.

Материалы и методы. Проведено прогнозирование биологической активности нафазолина с использованием компьютерной программы PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances). В качестве критерия «новизны» использованы результаты анализа информационных источников баз данных PubMed, MEDLINE, Europe PMC, eLibrary.Ru (по ключевым словам – нафазолин, производные нафазолина, радиозащитное действие, механизмы).

Результаты. В результате компьютерного прогноза спектра биологической активности нафазолина при пороге $P_a > 0,5$ (вероятность проявления более 50 %) выявлено 34 возможных молекулярных механизмов действия. Среди них, в частности, стимуляция α -адренорецепторов ($P_a = 0,912$), активация рецепторов имидазолина ($P_a = 0,799$), ингибирование циклофилина ($P_a = 0,635$), активация супероксиддисмутазы ($P_a = 0,621$), ингибирование хлоридпероксидазы ($P_a = 0,601$) и активация фактора некроза опухоли ($P_a = 0,529$). Полученные результаты ожидаемо подтвердили установленные ранее механизмы радиозащитного действия нафазолина. Кроме того, определили потенциально возможные фармакологические механизмы действия – антиоксидантные и иммуномодулирующие свойства структурной молекулы нафазолина, которые могут быть учтены при разработке рецептур, обладающих более выраженным радиозащитным эффектом, чем у препаратов с одним действующим веществом – нафазолином, а также проявляющих более безопасный профиль.

Выводы. Полученные методом *in silico* данные позволяют предположить, что радиозащитные эффекты производных нафазолина обусловлены не только стимуляцией α -адренорецепторов и рецепторов имидазолина, но и их антиоксидантными (посредством влияния на циклофилин и хлоридпероксидазу) и иммуномодулирующими (связанные с фактором некроза опухоли) свойствами.

РАЗРАБОТКА РАДИОЗАЩИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ РАДИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

К.Т. Ишмухаметов, Р.Н. Низамов, А.В. Фролов, Я.М. Курбангалеев, Д.Т. Шарифуллина
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»,
г. Казань, Россия
kamil-ishmuhametov@rambler.ru

Радиационно-токсические факторы способны вызывать патологические состояния, при которых организм не справляется с образующимися оксидными радикалами. Защита животных в этих условиях потребует применения лечебных препаратов.

Известно, что облучение микроорганизмов в дозах недостаточных для разрушения молекул их ДНК, но вполне приемлемых для ДНК-перестроек может привести к образованию фенотипов бактерий, обладающих способностью усиленно экспрессировать биологически активные соединения. Эти свойства можно использовать в создании средств биологической защиты.

Цель исследования – разработать комплексный препарат для профилактики и лечения радиационных поражений на основе радиомодифицированных микроорганизмов.

Материалы и методы. Суточную бактериальную культуру *E. coli* «ПЛ-6» в мясопептонном бульоне (МПБ) и четырехсуточную *B. Bifidum 1* в жидкой среде Блаурокка на гамма-установке «Исследователь» последовательно облучили в дозах 1, 2, 3 и 4 кГр. Между каждым радиационным воздействием исходные и радиомодифицированные культуры пассировали в питательных средах. В случае недостаточного роста колоний пассирование повторяли. Перед каждым облучением отбирали образцы микроорганизмов в бактериальных средах для анализа и изготовления бактериальных препаратов. Культурально-морфологические и биохимические характеристики клеток, суспензионных и бактериальных жидкостей определяли общепринятыми в биохимии методами.

Результаты. Установлено, что после облучения в дозах 1 и 2 кГр наблюдался сплошной рост культур в виде равномерного помутнения МПБ и образования полупрозрачных конгломератов в среде Блаурокка. На поверхности эшерихий было зарегистрировано появление шероховатости (1 кГр) и отдельных полихромных клеток, длина которых превышала естественные размеры в 3-7 раз (2 кГр). Облучение в дозах 3 и 4 кГр подавляло рост культур, что потребовало дополнительного пассирования. Количество атипичных клеток возросло до 2,4 раза (3 кГр) и 3,4 раза (4 кГр). В некоторых полях зрения были выявлены плотные, физиологически неактивные, меньшего размера клетки с размером $\approx 0,3-0,5$ мкм. Трансформация бифидобактерий была зарегистрирована после воздействия в дозе 1 кГр. При этом наблюдалось значительное количество разрушенных клеток. В суспензионной эшерихиозной жидкости (4 кГр) было зарегистрировано повышение количества ДНК в 1,8 раза, активности пероксидазы (АП) в 2,2 раза по сравнению с исходными значениями. В культуральной жидкости значения этих показателей повысились по сравнению с исходными значениями в 1,7 раза. Содержание аминокислот серина и глицина у радиорезистентных (4 кГр) эшерихий было в 2,3 раза, цистеина в 2 раза выше по сравнению с исходом. Активность пероксидазы в суспензионной жидкости бифидобактерий составляла $0,35 \cdot 10^{-3}$ (превышение в 1,1 раза) и культуральной жидкости $0,05 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1} \text{ мг}^{-1}$.

Выводы. Последовательно возрастающее гамма-облучение бактерий штаммов *E. coli* «ПЛ-6» и *B. Bifidum 1* от 1 до 4 кГр способствовало изменению их культурально-морфологических свойств и усилению экспрессии бактериоцинов. Радиорезистентные бактерии будут использованы в формировании противорадиационных препаратов.

РАДИОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ МЕТФОРМИНА И МЕКСИДОЛА ПРИ РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Е. Е. Карманова^{1,2}, А. В. Черников¹,

А. М. Усачева¹, М. Г. Шарпов², Е. А. Замятина¹, В. А. Аникина¹, И. Брусков¹

¹Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино

²Институт биофизики клетки ФИЦ НЦБИ РАН, г. Пущино, Россия

bruskov_vi@rambler.ru

Поиск новых радиозащитных средств и исследование механизмов их действия является актуальным как для радиобиологии, так и выяснения природы окислительного стресса, проявляющегося при многих заболеваниях. Одним из подходов для решения этой задачи является поиск радиозащитных средств среди лекарственных препаратов, эффективно используемых в медицинской практике для лечения различных заболеваний. В этом случае нет необходимости проведения длительных и дорогостоящих клинических испытаний для использования их при облучении человека.

Цель данной работы – исследование радиозащитных свойств мексидола и метформина и их сравнение при рентгеновском облучении.

Материалы и методы. Для исследования радиозащитных свойств этих препаратов использовали 72 часовой колориметрический МТТ-тест на культуре мезенхимальных стволовых клеток человека (МСК) и микроядерный тест (МЯ-тест) на самцах беспородных мышей SHK.

Результаты. МТТ-тест был проведен при облучении клеток в дозе 15 Гр, что показало неоднозначный результат. В случае метформина наблюдали малое снижение оптической плотности формазана (показатель метаболической активности клеток) по сравнению с интактным контролем при облучении без метформина, с добавлением 0,1 мМ метформина при облучении – увеличение на 30 % относительно контроля, а при увеличении концентрации метформина от 0,5 до 10 мМ – обратно пропорциональное уменьшение по сравнению как к интактному, так и облученному контролю. Для мексидола ситуация противоположная. Облучение без добавления препарата вызвало увеличение оптической плотности формазана на 20 %, т. е. проявляла стимулирующий эффект, добавление мексидола 0,01 и 0,1 мМ нивелировало данный эффект до уровня интактного контроля, а при концентрации 1 мМ мексидола оптическая плотность формазана была примерно равна таковой для облученного контроля.

Оба препарата показали генопротекторные и радиозащитные свойства *in vivo*. Установлено, что мексидол при его внутрибрюшинном введении после острого рентгеновского облучения в дозе 1,5 Гр в концентрациях 50 мг/кг и 150 мг/кг снижает частоту образования микроядер в полихроматофильных эритроцитах (МЯ в ПХЭ) красного костного мозга мышей на 69 и 79% соответственно. В концентрации 5 мг/кг мексидол не оказывает достоверного радиозащитного эффекта. Показано, что метформин в концентрациях 3 мг/кг и 30 мг/кг при внутрибрюшинном введении после рентгеновского облучения в дозе 1,5 Гр снижает частоту образования МЯ в ПХЭ на 65 и 75 % соответственно.

Выводы. Таким образом, мексидол и метформин проявляют радиозащитные свойства. Радиозащитная активность мексидола и метформина зависит от их концентрации. В малых концентрациях метформин значительно эффективнее мексидола как радиозащитное средство, тогда как в более высоких проявляет радиосенсибилизирующий и токсический эффект. Они обладают генопротекторными и радиозащитными свойствами при введении в организм мышей после облучения и являются перспективными соединениями для дальнейших исследований их радиозащитных свойств.

МОДИФИКАЦИЯ ПИРАЦЕТАМОМ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НЕЙРОНОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА, ИНДУЦИРУЕМЫХ ТОТАЛЬНЫМ ФРАКЦИОННЫМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЕМ

*И.А. Колесникова^{1,2}, Н.Н. Буденная^{1,2}, Ю.С. Северюхин^{1,2}, В.Н. Гаевский¹,
М. Лалковичова^{1,3}, К.Н. Ляхова¹, Д.М. Утина^{1,2}*

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Университет «Дубна», Дубна, Россия

³ Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Kosice, Slovakia
innakolesnikova@jinr.ru

Обзор литературы не дает однозначного представления о морфологических и функциональных нарушениях в ЦНС при фракционированном облучении. Актуальным является определение модифицирующего действия некоторых фармакологических препаратов на радиобиологические эффекты при подобного рода воздействиях.

Целью работы являлось исследование радиопротекторных свойств препарата «Ноотропил» (пирацетам) в отношении клеток головного мозга крыс при воздействии фракционированного гамма-излучения.

Материалы и методы. Исследование выполнено на 15 самцах крыс линии SD в возрасте 8 месяцев с массой тела 500-600 гр. Крысы подверглись тотальному фракционированному облучению гамма-квантами Co^{60} в суммарной дозе 5 Гр на установке «Рокус» (МТК ОИЯИ). Мощность дозы составляла 0,5 Гр/мин. РИП – 75 см. Животные были разделены на три группы: группа 1 - контрольные животные в ходе 14 дней эксперимента получали внутрибрюшинные инъекции хлорида натрия 0,9 % по 0,5 мл; группа 2 – облученные животные, подвергнутые фракционированному гамма-облучению Co^{60} в дозе 0,5 Гр/день (10 фракций) с перерывом на выходные и так же получала внутрибрюшинные инъекции хлорида натрия 0,9 % по 0,5 мл; группа 3 – облученные животные, получавшие внутрибрюшинные инъекции пирацетама по 0,5 мл в расчете 100 мг/кг массы животного после аналогичного фракционированного гамма-облучения для группы 2. Животные были умерщвлены на 19 день от начала эксперимента. Препараты для микроскопии готовили, используя общепринятые методы гистологической обработки тканей млекопитающих: головной мозг фиксировали в жидкости Карнуа и заливали в парафиновые блоки, гистологические срезы (7 и 10 мкм) окрашивали крезилвиолетом по методу Ниссля и Fluoro Jade В соответственно. Проведен качественный и количественный анализ нейронов сенсомоторной коры головного мозга. Идентифицировали клетки без патологических нарушений, с морфофункциональными и компенсаторно-приспособительными изменениями, дегенеративные нейроны. Статистическую значимость рассчитывали по критерию ANOVA ($p \leq 0,05$).

Результаты. Установлено, что в сенсомоторной коре соотношение числа неизмененных нейронов к количеству нейронов с какими-либо изменениями статистически значимо отличается от аналогичного соотношения клеток у животных, подвергнутых только облучению. Количество дегенеративных нейронов у животных 2-й и 3-й групп больше, чем у крыс контрольной группы ($p=0,001$), что подтверждается количеством Fluoro Jade В положительных клеток ($p=0,002$). Количество нейронов с компенсаторно-приспособительными и морфофункциональными изменениями у животных группы 3 меньше, чем у группы 2 ($p=0,059$).

Вывод. Полученные результаты свидетельствуют о повреждающем действии фракционированного гамма-излучения в дозе 5 Гр на клетки головного мозга и о наличии нейрозащитного эффекта при двухнедельном введении пирацетама после воздействия радиации.

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ МЕСТНОГО ЛЕЧЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ОЖОГОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ РАДИАЦИОННОМ ПОРАЖЕНИИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

А.Ю. Кондаков, Д.В. Ремизов, П.В. Тихомиров

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
alexkondakov@list.ru

При ведении боевых действий с применением оружия массового поражения, а так же при крупных авариях на АЭС и других объектах атомной промышленности к основному поражающему фактору – ионизирующему излучению могут присоединиться и другие, в частности термические, обусловленные пожарами, что приводит к возникновению комбинированных радиационно-термических поражений (КРТП). При данном виде патологии длительность заживления и эпителизации ожоговых поверхностей существенно возрастает за счет удлинения стадий и фаз раневого и репаративного процессов, что обусловлено комплексом эффектов лучевого поражения (изменением состояния гемостаза, микроциркуляции, иммунологической реактивности, повышением частоты осложнений и утяжелением раневого процесса).

Целью исследования явилось изучение влияния ранозаживляющих средств на процессы репаративной регенерации термических ожогов при комбинированном радиационном поражении.

Материалы и методы. Эксперименты выполнены на белых беспородных крысах-самцах, которых подвергли общему равномерному кратковременному гамма-облучению на установке ИГУР-1 (источник Cs ¹³⁷) в дозе ЛД_{50/30}, после чего в течение 10-15 мин наносили световой термический ожог III-а степени площадью 5-7 % поверхности тела. В качестве средств местного лечения использовали хирургическую салфетку из ткани атравматической углеродной Карпема, губку Сангвикол, содержащую сангвиритрин и коллаген и гидрогелевую пленку Inegran. перевязки осуществляли ежедневно в течение 7 дней. Все исследованные препараты заявлены как средства местного лечения, ускоряющие процессы репаративной регенерации при термических ожогах.

Результаты. При КРТП срок полного заживления термического ожога без лечения увеличился до $51,9 \pm 2,7$ сут, против $41,1 \pm 3,2$ сут при изолированном ожоге (также без лечения), что явилось фактом отягощения в эксперименте.

Применение Сангвикола уменьшало сроки заживления изолированного термического поражения на 3,8 сут (до $37,3 \pm 1,7$ сут), а ожога в условиях КРТП – на 5 сут (до $46,9 \pm 2,9$ сут), покрытие Inegran сокращало процессы регенерации в среднем на 4,4 сут, как у изолированной ожоговой травмы, так и ожога как компонента КРТП (до $36,7 \pm 2,5$ сут и $47,5 \pm 3,1$ сут соответственно). Наиболее эффективным оказалось применение хирургической салфетки Карпемы, которое способствовало заживлению изолированного ожога у крыс к $33,7 \pm 1,6$ сут, а при КРТП – к $42,5 \pm 2,6$ сут, что было на 7,4 сут и 9,4 сут меньше соответственно, чем в группах контрольных животных.

Вывод. Применение средств местного лечения (хирургическая салфетка Карпема, губка Сангвикол и гидрогелевая пленка Inegran) в ранние сроки течения КРТП, (модель, характеризующаяся отягощением течения термического ожога), оказывает положительное влияние на сроки заживления раны в условиях избранной модели комбинированного радиационно-термического поражения.

КОМПЕНСАТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЛАКТОФЕРРИНА ПРИ ОСТРОМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ

*М.Ю. Копеева¹, И.Б. Алчинова², М.В. Нестеренко³, А.Б. Черепов¹, М.С. Деморжи²,
И.Ю. Зарайская¹, М.Ю. Карганов²*

¹ Научно-исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

² НИИ общей патологии и патофизиологии, Москва, Россия

³ ООО «Лактобио», Москва, Россия

m.kopeeva@mail.ru

Лучевая терапия является распространенным методом лечения многих видов рака человека. Однако у пациентов, проходящих лучевую терапию, могут развиваться побочные эффекты, включая подавление иммунитета, изменение состава крови и повреждение слизистых оболочек. В настоящее время активно исследуются патогенные процессы, вызываемые ионизирующим излучением, и нетоксичные радиопротекторные соединения, способные защитить нормальные ткани от лучевого поражения. Лактоферрин (Лф) — полифункциональный белок из семейства трансферринов. Он широко представлен в различных секреторных жидкостях млекопитающих. Лф относят к системе врожденного иммунитета. Целью настоящей работы стало исследование эффектов лактоферрина человека (чЛф) у мышей после острого гамма-облучения в сублетальной дозе.

Для проведения исследования были использованы мыши - самцы линии C57BL/6 в возрасте 2-2,5 месяцев. Животные были разделены на экспериментальные и контрольные группы. Мыши из экспериментальных групп были подвергнуты общему воздействию γ -излучения на установке ГУТ-200М от источника ^{60}Co в дозе 7,5 Гр при мощности дозы 0,6 Гр/мин. Контрольные животные были ложно облучены. Сразу после воздействия и повторно через 24 ч после него часть животных получила инъекцию Лф (внутрибрюшинно, 4 мг/животное). В работе был использован чЛф, выделенный из женского молозива методом препаративной ионообменной хроматографии с последующей доочисткой на аффинном сорбенте гепарин-сефарозе. Каждые три дня измеряли массу тела мышей. Было изучено влияние чЛф на выживаемость и среднюю продолжительность жизни мышей в течение эксперимента (30 дней). Для оценки общей двигательной и исследовательской активности использовали тест «Открытое поле» на -1, 10, 20 и 30-е сутки после облучения. Через 3, 10 или 30 дней после облучения животных декапитировали с последующим забором органов (мозга, печени, селезенки) и цельной крови. В дальнейшей работе будет изучен собранный биологический материал.

Показано, что введение чЛф увеличило выживаемость облученных животных с 28,1% до 78,1%, а также среднюю продолжительность жизни с $16,0 \pm 1,7$ суток до $26,8 \pm 1,2$ (двукратное введение) и $26,2 \pm 1,3$ (однократное введение) суток. На 6-е сутки после облучения вес животных из всех экспериментальных групп уменьшился и значительно отличался от веса контрольных. Введение чЛф позволило восстановить этот показатель до уровня контроля на 21-е сутки. Вес мышей из группы «облучение» не был восстановлен даже на 30-е сутки. У облученных мышей выявлено уменьшение количества стоек в тесте «Открытое поле» через 10 суток после воздействия по сравнению с контрольными животными. Введение чЛф выравнивало этот показатель уже к 20-м суткам. Таким образом, чЛф оказал компенсаторное действие на исследовательскую активность облученных мышей. Полученные результаты позволяют предположить, что чЛф может снижать негативные последствия радиационного повреждения.

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКИХ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ

И.И. Красильников

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
gniii_2@mil.ru

Проблема лекарственной профилактики радиационных поражений остается актуальной в связи с опасностью возникновения лучевых поражений и в мирное время, и в условиях военного времени, а также отсутствием радиопротекторов (далее – РП), полностью удовлетворяющих требованиям практики.

Цель данного исследования состояла в установлении ряда направлений поиска и разработок, которые представляются перспективными в плане совершенствования РП, предназначенных к использованию в системе медицинской противолучевой защиты применительно к конкретной обстановке.

Материалы и методы. При анализе информационных источников использованы аналитико-синтетические методы исследований.

Результаты: Анализ научно-технической и патентной литературы, материалов собственных работ позволяют выделить ряд направлений исследований и разработок, представляющихся перспективными в плане совершенствования средств защиты:

1. Рациональный поиск и отбор потенциальных РП среди синтетических и природных соединений, а также аптечных лекарственных препаратов, исходя из особенностей их физико-химических свойств и биологической активности, т.е. потенциальных способностей блокировать известные механизмы повреждающего действия радиации или повышать неспецифическую резистентность организма.
2. Подробное изучение имеющихся РП с целью выявления у них новых свойств, позволяющих расширить показания к их применению.
3. Разработка РП различного целевого назначения.
4. Разработка радиозащитных рецептур, включающих РП различных классов и механизмов действия, а также фармакологические средства-корректоры, ослабляющие побочные эффекты радиопротекторов.
5. Разработка на основе современных технологий новых лекарственных форм и способов введения РП в организм, повышающих их эффективность, снижающих эффективные дозы, стабилизирующих препарат при хранении и пр.
6. Получение таргетных («мишенных») форм РП (например, митохондриальных антиоксидантов).
7. Поиск новых индикаторов повышенной радиочувствительности биообъектов и разработка новых моделей для оценки эффективности данных средств.
8. Изучение ингибиторов АДФ–рибозилирования, сочетающих свойства церебральных РП, противовирусных средств и антагонистов бактериальных токсинов.
9. Поиск РП, защищающих от отдаленных последствий облучения.
10. Систематический скрининг пищевых продуктов и пищевых добавок с целью поиска новых радиозащитных средств лечебно-профилактического действия.
11. Поиск новых «мишеней», фармакологическое воздействие на которые обеспечит повышение радиорезистентности организма (рецепторов, ферментов, и др.).
12. Изучение совместимости разрабатываемых РП с другими средствами защиты организма от поражающих факторов различной природы.

Вывод: для разработки новых противолучевых средств важно проведение комплексных многоплановых работ по вышеуказанным направлениям исследований.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ПРОФИЛАКТИКИ И ТЕРАПИИ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ

*В.И. Лезега*¹, *И.С. Драчев*², *А. Н. Гребенюк*^{3,4}

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова

² Государственный научно-исследовательский испытательный институт
военной медицины Минобороны РФ

³ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. И.П. Павлова Министерства здравоохранения РФ

⁴ Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет
Министерства здравоохранения РФ, г. Санкт-Петербург, Россия
svetlana.agni-star@yandex.ru

В настоящее время большое внимание уделяется изучению отдаленных последствий лучевых поражений. Связано это со значительным числом участников ликвидации последствий различных радиационных аварий и инцидентов, лиц, проживавших на радиоактивно-загрязненных территориях или подвергавшихся сверхнормативному радиационному воздействию при работах на вредных и опасных производствах, а также пациентов, получавших лучевую или химиолучевую терапию злокачественных новообразований и системных воспалительных заболеваний. В связи с этим актуальной задачей современной радиационной фармакологии становится поиск, разработка, испытание и внедрение в клиническую практику лекарственных средств, позволяющих предотвратить или затормозить развитие отдаленных последствий и/или снизить тяжесть их клинических проявлений.

Детерминистские последствия лучевого воздействия могут быть следствием радиационно-индуцированного воспаления (пневмонит, колит, перикардит, цистит, ректит и др.) или итогом развития фиброзных и язвенно-некротических процессов (дермофиброз, пневмосклероз, нефросклероз, миокардиофиброз, лучевая катаракта, поздние лучевые язвы кожи и желудочно-кишечного тракта, нейродегенеративные изменения и др.). Для профилактики и ранней терапии эффектов, обусловленных радиационным воспалением, можно использовать агонисты противовоспалительного цитокина ИЛ-10 (теновил, декавил, ребоксетин) и антагонисты воспалительных цитокинов – ФНО- α , ИЛ-6, ИЛ-8, ИЛ-1 (инфликсимаб, тоцилизумаб, байкалеин и др.). Для предотвращения отдаленных последствий, обусловленных фиброзными и язвенно-некротическими процессами, используют препараты ФНО- α и ФНО- β (декавил, инфликсимаб), ингибиторы эндотелиального фактора роста сосудов VEGF (ваталаниб, пазопаниб, цедираниб), ингибиторы трансформирующего фактора роста (нарингенин, релаксин, пирфенидон, пентоксифиллин), ингибиторы фактора роста тромбоцитов PDGF (иматиниб), агонист фактора роста гепатоцитов HGF (ретиноевая кислота).

В последние годы наметился прогресс в разработке средств, предназначенных для профилактики отдаленных стохастических последствий облучения (лейкозы, солидные раки). В экспериментах показана эффективность препаратов, восстанавливающих функцию белка p53 и блокирующих «эффект свидетеля» (амифостин), стимуляторов репарации двунитевых разрывов ДНК (авотермин), ингибиторов медиаторов «щелевого контакта» – коннектинов (линдан), стимуляторов экспрессии сиртуинов (ресвератрол). Применение их в ходе или сразу после облучения позволяет снизить риск опухолевой трансформации органов и тканей, уменьшить выход хромосомных aberrаций, а порой и увеличить среднюю продолжительность жизни облученных лабораторных животных.

В докладе будет проведен анализ проблемы отдаленных последствий радиационного воздействия и дана характеристика перспективных средств профилактики и ранней терапии отдаленных детерминистских и стохастических эффектов облучения.

МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ «ЦЕРЕБРОЛИЗИНА» НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И РАБОЧУЮ ПАМЯТЬ КРЫС ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПРОТОНАМИ

Ляхова К.Н.¹, Утина Д.М.^{1,2}, Колесникова И.А.^{1,2}, Молоканов А.Г.¹

¹ Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

² Университет «Дубна», г. Дубна, Россия

lyakhovakn@mail.ru

В настоящее время к особо актуальным и слабо изученным проблемам нейрорадиобиологии относятся вопросы модификации нарушений высших интегративных функций центральной нервной системы средствами фармакохимической защиты при действии ионизирующих излучений.

Цель. Оценить действие препарата «Церебролизин» на поведенческие реакции и рабочую память крыс после тотального облучения протонами.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на 32 самцах крыс линии Sprague Dawley массой 350-360 г. Животные были облучены тотально ускоренными протонами с энергией 170 МэВ напролет на медицинском пучке фазотрона ОИЯИ (г. Дубна). Доза облучения – 4 Гр, мощность облучения – 0,7 Гр/мин. На 32 сутки после облучения животных распределяли на две рандомизированные по массе группы: первая – облученные животные, которым в течение 14 суток внутрибрюшинно вводили «Церебролизин» (2,5 мл/кг), вторая – облученные животные, которым по аналогичной схеме вводили физиологический раствор. Двум группам необлученных животных также по аналогичной схеме делали инъекции препарата и физиологического раствора, соответственно. Оценка показателей поведенческих реакций крыс проводилась по уровню локомоторной активности в тестовой установке «Открытое поле» (ОП) в течение 6 мин. Во время тестирования производилась видеорегистрация поведения с использованием программного комплекса EthoVision XT 13 (Noldus Technology, Нидерланды). Проводили автоматический анализ общей пройденной дистанции в ОП. В ходе эксперимента также была произведена оценка рабочей памяти грызунов при спонтанном чередовании в Т-лабиринте. Оценивалось процентное соотношение чередований, повторов и отказов. Статистическую значимость рассчитывали по критерию Манна-Уитни ($p \leq 0,05$).

Результаты. При анализе данных было выявлено статистически значимое увеличение показателя эмоционального статуса и движение на месте на 50 сутки у облученных животных относительно контрольной группы. У облученных животных, получавших препарат, указанные выше показатели были на уровне контроля. При многократном введении «Церебролизина» облученным животным наблюдалось статистически значимое восстановление показателя «движение на месте» (1-3 мин тестирования) до контрольных значений. При анализе общей пройденной дистанции в первые 3 минуты тестирования в ОП было выявлено, что в группе облученных животных с введением препарата значение данного показателя было статистически значимо больше, чем у облученной группы без препарата, что свидетельствует о повышенной двигательной активности. При оценке рабочей памяти крыс в Т-лабиринте у облученных животных, получавших «Церебролизин», было выявлено снижение отказов до 13 % по сравнению с облученной группой без введения препарата (63 %).

Выводы. Введение «Церебролизина» облученным животным статистически значимо восстанавливает значение показателей «движение на месте», «общая пройденная дистанция» и оказывает позитивное действие на рабочую память облученных животных. Работа выполнена при поддержке гранта ОМУС №20-702-02.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СВОЙСТВ БЕТА-D-ГЛЮКАНА

*Е. В. Мурзина¹, Г. А. Софронов^{1,2}, А. С. Симбирцев², Н. В. Аксенова¹,
О. М. Веселова¹, Н. А. Жирнова¹, Н. А. Климов²*

¹ Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

² Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия
gasofronov@mail.ru

Одними из перспективных соединений в качестве эффективных и безопасных средств фармакологической защиты от лучевого поражения являются природные полимеры бета-D-глюканы, обладающие в организме млекопитающих полифункциональным действием, в частности, иммуномодулирующим, противоопухолевым, антиоксидантным, противовоспалительным и др.

Целью данного исследования явилась оценка противолучевой эффективности растворимой формы бета-D-глюкана (БГ) *Pleurotus ostreatus*.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на беспородных белых мышах-самцах массой тела 20-22 г, полученных из питомника лабораторных животных «Рапполово» (Ленинградская область). Животных подвергали однократному общему относительно равномерному рентгеновскому облучению в направлении «спина – грудь» с использованием рентгенотерапевтической установки «РУМ-17» (мощность дозы излучения 0,328 Гр/мин). Анализ полученных данных проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 8,0 и непараметрических статистических критериев.

Результаты. На первом этапе работы БГ вводили животным внутрижелудочно в виде водного раствора в разных дозах (50; 250; 500; 1000 мг/кг) в профилактических или терапевтических схемах при облучении в дозах 7,5 и 8 Гр. Установлено, что эффективным было применение БГ в дозе 500 мг/кг как за 15-30 мин до облучения, так и через 1 и 2 ч после радиационного воздействия. Введение препарата в данной дозе хорошо переносилось животными и не вызывало выраженных токсических эффектов.

Для количественной оценки радиозащитного эффекта была проведена следующая серия экспериментов, в которых БГ вводили однократно в дозе 500 мг/кг в данных схемах; животных облучали в дозах 6,5; 7; 7,5 и 8 Гр. Введение БГ за 15-30 мин до облучения повышало величину СД_{50/30} в 1,2 раза, при пострадиационном применении препарата ФИД по выживаемости мышей составил 1,1, что подтвердило ранее полученные данные, свидетельствующие о большей противолучевой эффективности БГ в условиях профилактического применения в короткие сроки до радиационного воздействия. Использование БГ в этот срок также статистически значимо по сравнению с контрольной группой повышало СПЖ погибших от облучения мышей.

В настоящее время проводится изучение механизмов противолучевого действия БГ. В частности, показано снижение радиационного поражения системы кроветворения и ускорение восстановления гемопоэза при применении БГ в дозе 500 мг/кг за 15-30 мин до облучения мышей.

Заключение. Несмотря на то, что полученные результаты демонстрируют умеренную радиозащитную активность бета-глюкана из *Pl. ostreatus*, в совокупности с данными литературы о широком спектре биологической активности полисахаридов, выделенных из лекарственных грибов, они позволяют рассматривать данный полисахарид в качестве перспективного кандидатного препарата для разработки нового противолучевого средства.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСДЕРМАЛЬНОГО И ПОДКОЖНОГО СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ БЕЛКОВОГО ЛИПОСОМАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ КОЖИ У МЫШЕЙ

*Н.А. Обвинцева¹, Г.А. Тряпцына^{1,2}, Н.И. Атаманюк¹, Е.А. Прыхин¹,
Л.Н. Семенкова³, Ю.И. Остроумов³*

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

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

³ОАО Институт инженерной иммунологии, Москва, Россия

⁴Челябинский областной клинический онкологический диспансер,
Челябинск, Россия
n_obvintseva@mail.ru

Цель: оценка эффективности трансдермального (путем разбрызгивания липосомального препарата на кожу с помощью дозатора) и подкожного способа введения препарата, содержащего белковый компонент (рекомбинантный дрожжевой альфа-фетопротеин человека (рчАФП), рекомбинантный дрожжевой гранулоцитарный колониестимулирующий фактор человека (рчГ-КСФ) и компонент трансдермальной доставки (липосомы), для профилактики и лечения лучевых поражений кожи у мышей.

Материалы и методы. В эксперименте было использовано 80 самцов мышей стока CD1 в возрасте 10 недель. Местное радиационное поражение кожи спины IIIa степени у мышей было получено с использованием системы ускорителя Elekta Synergy (Elekta Limited) Челябинского областного клинического онкологического диспансера по ранее разработанной методике. Облучение проводили рентгеновскими лучами в дозе 60 Гр с мощностью дозы 5,5 Гр/мин, с номинальной энергией фотонов 6 МэВ. Липосомальный препарат наносили накожно в дозе 200 мкл с использованием дозатора-распысквателя с расстояния 0,5 - 1 см. Подкожное введение препарата проводили, отступая на 0,2 - 0,3 см от места ожоговой раны с помощью инсулинового шприца в объеме 200 мкл. Эффективность препарата оценивали по клиническим признакам (длительность периодов деструктивной и репаративной фаз, а также отдельных стадий: латентной стадии, стадии сухого и влажного эпидермита, стадии струпа, стадии эпителизации) в течение 60 сут. и гистологическим данным на 7, 21 и 35 сут после облучения (анализировали количество волосяных фолликулов в поле зрения (1 мм²), толщину эпидермиса (мкм) и количество рядов эпидермиса).

Результаты. При применении липосомального препарата при накожном и подкожном способе введения наблюдалось достоверное укорочение стадии струпа по отношению к облученному контролю (соответственно $6,4 \pm 0,5$ сут и $7,0 \pm 0,2$ сут против $8,5 \pm 0,3$ сут в облученном контроле). При этом не было выявлено достоверных различий клинических признаков между трансдермальным и подкожным способом введения. При гистологическом анализе на 35 сутки после облучения было выявлено достоверное увеличение количества волосяных фолликулов в группе с трансдермальным введением препарата в 2 раза по сравнению со значением этого показателя в группе с подкожным введением и составляло $8,6 \pm 1,4$ по сравнению с $4,1 \pm 0,9$ ($t_{\text{ст}} = 2,70$; $p = 0,04$) и достоверно больше показателя облученного нелеченого контроля – $2,6 \pm 1,4$ ($t_{\text{ст}} = 2,98$; $p = 0,02$).

Заключение. Трансдермальный способ введения липосомального белкового препарата является более эффективным по сравнению с подкожным введением. При этом, трансдермальное введение препарата является не инвазивным, что снижает вероятность инфекционных осложнений, исключает дополнительную травматизацию кожи вблизи ожоговой раны, не вызывает болевых ощущений, что даёт большее преимущество перед подкожным способом введения препаратов.

ЛИПОСОМАЛЬНЫЙ рчАФП – СРЕДСТВО ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ

*Е. А. Пряхин¹, И. А. Шапошникова¹, Г. А. Тряпицына^{1,2}, Ю.И. Остроумов¹,
Л. Н. Семенкова¹, П. С. Шмелин³, А. В. Аклеев^{1,2}*

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

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

³ЦНИТИ “Техномаш”, Москва, Россия

pryakhin@yandex.ru

Расширение применения технологий радиационной медицины, радиационные инциденты и повышение вероятности радиационного терроризма делают необходимым разработку новых, эффективных средств профилактики и лечения радиационных поражений.

Цель работы – разработка технологий получения и контроля качества, оценка специфической эффективности и безвредности липосомального рекомбинантного человеческого АФП (рчАФП) для профилактики и лечения радиационного дерматита и острого радиационного синдрома.

Материалы и методы. Разработана технология получения фармацевтической субстанции и готовой лекарственной формы липосомального рчАФП. Разработаны технологии и проведена оценка качества опытных образцов рчАФП. Проведен весь спектр доклинических исследований, включая определение механизмов действия, оценку безвредности (оценка острой, хронической токсичности, оценка иммунотоксического, мутагенного, аллергизирующего действия, оценка влияния на генеративную функцию и развитие потомства), оценку фармакокинетики, специфического действия (эффективность для экстренной профилактики и лечения радиационных ожогов кожи), оценку стабильности липосомального рчАФП. Кроме того, проведены исследования по оценке эффективности препарата для профилактики и лечения острого радиационного синдрома.

Результаты. Установлено, что применение липосом обеспечивает трансдермальное проникновение белка рчАФП при аппликации (разбрызгивания спрея) на кожу. Механизмы действия липосомального рчАФП связаны с повышением выживаемости и стимуляцией пролиферации стволовых клеток. Готовая лекарственная форма липосомального рчАФП является безвредной. В соответствии с классификацией опасности лекарственных средств для клинического применения относится к III классу малоопасных лекарственных препаратов. Липосомальный рчАФП удлиняет латентный период и сокращает сроки заживления раны при радиационном ожоге кожи.

Готовая лекарственная форма липосомального рчАФП сохраняет стабильность по всем показателям при хранении в течение 2 лет. Разработаны нормативно-технические документы, в том числе необходимые для получения разрешения на проведение I фазы клинического исследования лекарственного препарата для медицинского применения.

Кроме этого показано, что при внутрибрюшинном и внутривенном введении липосомального рчАФП до радиационного воздействия регистрируется повышение выживаемости мышей при остром гамма-облучении.

Выводы. Разработано новое лекарственное средство (липосомальный рчАФП) для профилактики и лечения радиационных поражений и проведены его доклинические исследования.

ПОВЫШЕНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ γ -ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙРАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК МЫШИ С ПОМОЩЬЮ ФАКТОРОВ, СЕКРЕТИРУЕМЫХ НЕЙРАЛЬНЫМИ И МЕЗЕНХИМАЛЬНЫМИ СТВОЛОВЫМИ КЛЕТКАМИ

М.Г. Ратушняк, Ю. П. Семочкина

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Ratushnyak_MG@nrcki.ru

Самые серьезные последствия облучения после лучевой терапии опухолей мозга, головы и шеи возникают в результате прямого повреждения клеток паренхимы головного мозга, нейронов и пула нейральных стволовых клеток/нейральных прогениторных клеток (НСК/НПК). В связи с этим разработка способов профилактики и лечения пострadiационных повреждений мозга остаётся высоко актуальной проблемой.

Цель исследования – изучение влияния факторов, секретируемых НСК/НПК и мезенхимальными стволовыми клетками из жировой ткани (МСК) мыши, на выживаемость культивируемых НСК/НПК после их γ -облучения.

Материалы и методы. НСК/НПК выделяли из головного мозга новорожденных мышат, МСК – из жировой ткани. НСК/НПК облучали на установке ГУТ-200М (кобальт-60) при мощности дозы 0,75 Гр/мин в культуральной среде в дозах 1 и 2 Гр. Контрольные и облученные НСК/НПК высевали в культуральные 24-х луночные планшеты. После чего в каждую лунку планшета помещали проницаемые мембранные вкладыши с необлученными НСК/НПК или с МСК, либо добавляли необлученные НСК/НПК прямо в лунки. Выживаемость клеток оценивали через 48 и 72 ч культивирования. Уровень апоптоза определяли через 48 ч с помощью проточной цитофлуориметрии.

Результаты. Установлено, что γ -облучение НСК/НПК в дозах 1 и 2 Гр приводило к снижению выживаемости клеток через 72 ч после воздействия до $57 \pm 2\%$ и $44 \pm 3\%$ от необлученного контроля, соответственно. При ко-культивировании облученных клеток с необлученными НСК/НПК в проницаемых вкладышах, выживаемость НСК/НПК, облученных в дозе 1 Гр, через 72 часа повышалась до $91 \pm 3\%$, а после облучения в дозе 2 Гр – до $70 \pm 2\%$ ($p < 0,05$). При ко-культивировании с МСК в аналогичных условиях выживаемость НСК/НПК облученных, в дозе 1 Гр составляла $86 \pm 4\%$, а после облучения в дозе 2 Гр – $60 \pm 4\%$ ($p < 0,05$). При прямом ко-культивировании облученных НСК/НПК с необлученными клетками, их выживаемость повышалась до $100 \pm 5\%$ и $88 \pm 4\%$ через 72 часа после облучения в дозах 1 и 2 Гр соответственно ($p < 0,05$). Это свидетельствует о важной роли в защитном эффекте не только секретируемых факторов, но и межклеточных взаимодействий. Выживаемость НСК/НПК через 48 ч культивирования после облучения в дозе 2 Гр составила $52 \pm 2,3\%$. Она повышалась до $110 \pm 8\%$ при ко-культивировании с необлученными НСК/НПК и до $95 \pm 2\%$ при ко-культивировании с МСК при использовании вкладышей. Доля клеток культуры НСК/НПК в состоянии апоптоза возрастала с $0,20 \pm 0,02\%$ в контроле до $2,2 \pm 0,2\%$ после облучения в дозе 2 Гр. Уровень апоптоза в НСК/НПК, облученных в дозе 2 Гр, при ко-культивировании с необлученными НСК/НПК составлял $2,1 \pm 0,2\%$, а с МСК – $1,6 \pm 0,2\%$. Необходимо дальнейшее изучение механизмов радиозащитного действия факторов, секретируемых НСК/НПК и МСК.

Выводы. Показано повышение выживаемости облученных *in vitro* НСК/НПК мыши под действием факторов, секретируемых культивируемыми НСК/НПК и МСК. Эффективность радиозащитного действия НСК/НПК и МСК была одинакова.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №1363 от 25.06.2019 г.).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕКСАМЕТАЗОНА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОМ ПОРАЖЕНИИ

Д.В. Ремизов, А.Ю. Кондаков, П.В. Тихомиров

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
r_dmv@mail.ru

Опыт применения ядерного оружия и ликвидации техногенных аварий и катастроф на объектах атомной промышленности свидетельствует, что большое количество пострадавших будет с комбинированными радиационными поражениями.

Одним из направлений исследований по поиску и отбору средств раннего лечения комбинированных радиационных поражений является изучение известных фармакологических средств с целью расширения показаний к их применению, в том числе в качестве препаратов, повышающих радиорезистентность организма. Для исследования был выбран препарат Дексаметазон, который, воздействуя на энергетический метаболизм организма, препятствует образованию продукции провоспалительных цитокинов, способствует стабилизации лизосомальных мембран, снижает концентрацию протеолитических ферментов в области воспаления, уменьшает проницаемость капилляров и т.д.

Материалы и методы. Для оценки эффективности препарата Дексаметазон были выполнены экспериментальные исследования выживаемости животных и сроков заживления термического ожога при комбинированном радиационно-термическом поражении (КРТП). Белых беспородных крыс-самцов подвергли общему равномерному кратковременному гамма-облучению на установке ИГУР-1 (источник источник Cs¹³⁷) в дозе 6 Гр (ЛД_{50/30}), после чего, течение 10-15 мин наносили световой термический ожог III-а степени площадью 5-7 % поверхности тела. Дексаметазон вводили в дозе 1 мг/кг внутримышечно за 30 мин до облучения и через 10-15 мин после моделирования КРТП.

Результаты. Облучение в дозе 6 Гр вызывало лучевое поражение животных, характеризовавшееся СПЖ, равной $13,3 \pm 1,5$ сут. Нанесение термического ожога отягощало течение острого лучевого поражения, что проявлялось увеличением смертности животных до 80 %, при практически неизменной СПЖ ($14,1 \pm 1,7$ сут). Профилактическое применение Дексаметазона в дозе 1 мг/кг за 30 мин до облучения оказывало положительное влияние как при остром радиационном поражении, так и при КРТП, увеличивая выживаемость в группах на 10 % и 20 %, а СПЖ — продлевая на 3,8 сут и 1,2 сут соответственно. Лечебное применение Дексаметазона в выбранной дозировке, увеличивало количество выживших крыс при изолированном облучении на 20 %, а при КРТП на 10 %, при этом СПЖ возрастала на 2,5 сут в обеих группах животных.

Выводы. Профилактическое применение Дексаметазона на фоне КРТП оказывает положительное влияние на течение и исход поражения, обеспечивая увеличение выживаемости крыс на 20 % и снижение сроков репарации раны на 5,1 сут. Кроме того, у животных с КРТП при использовании Дексаметазона за 30 мин до облучения происходило сокращение сроков заживления ожога на 5,1 сут, а при лечебном применении — на 3,2 сут, в сравнении с группой, не получавшей препарат.

Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности использования стероидных противовоспалительных средств при КРТП. Возможно, что совместное применение Дексаметазона с антибактериальными, антиоксидантными и иммуномодулирующими средствами позволит существенно повысить эффективность противолучевых средств при КРТП.

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ В РОССИИ: ПУТИ ВЫХОДА ИЗ КРИЗИСА

Л.М.Рождественский

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

lemrod@mail.ru

Разработка противолучевых средств (ПЛС) является важнейшим компонентом поддержания радиационной безопасности в разных аспектах. В последнее десятилетие участились кризисные явления в развитии этого направления исследований (закрытие ряда лабораторий, кампания закрытия работающих γ -установок, трудности с опытами на крупных лабораторных животных, дефицит вивариев современного типа и высокотехнологичных приборов, невозможность проведения ПЛС до уровня медицинского препарата, остановка надзором производства успешного отечественного ПЛС – беталейкина. Как итог – снижение уровня обеспечения радиационной безопасности, отсутствие новых проектов и препаратов, отставание от ведущих мировых центров (вопросы к менеджменту самого высокого уровня).

Причины создавшегося положения заключаются в отсутствии ведущего центра и ведомственной разобщенности разработок ПЛС (игнорирование указа президента от , и зарубежного опыта), в недооценке неизбежности радиационных инцидентов и роли радиобиологии как науки атомной эры, ее достижений как прикладного (открытие восстановления, пороговости, фармакокоррекции радиационных поражений) так и фундаментального характера (обоснование нового геологического периода - антропоцена).

Возможные пути выхода из кризиса. 1. Переход от поиска «идеального радиопротектора (РП)» с отсутствием токсических свойств к разработке рецептур из уже открытых РП, включая препараты, корректирующие их нежелательные эффекты. 2. Разработка новых методических указаний, акцентирующих индикаторный подход к оценке эффективности ПЛС через биомаркеры повышенной радиорезистентности (решают проблему 2-й стадии клинических испытаний) и использование в чрезвычайных ситуациях ПЛС (в том числе забракованных) в (суб)токсических дозах. 3. переход к преимущественному поиску ПЛС нового поколения или рецептур, способных уменьшить выход отдаленных эффектов (прежде всего – канцерогенных). 4. Разработка адаптивных/гормезисных эффектов низких уровней облучения. 5. Разработка методов гибернации как возможного способа консервации любого тяжелого радиационного поражения, в том числе от ядер тяжелых атомов, с последующим подключением различных восстановительных процедур.

РАЗРАБОТКА ВОЗМОЖНЫХ БИОМАРКЕРОВ МЕДИКАМЕНТОЗНО ПОВЫШЕННОЙ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ И УСКОРЕННОГО ПОСТРАДАЦИОННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

*Л.М.Рождественский, Т.М.Блохина, Л.П.Сычева, Л.В.Шуленина, Д.В.Салеева,
М.А.Игнатов, Н.И.Лисина, К.Ю.Романова, Н.Ю.Воробьева, В.Ф.Михайлов, А.Н.Осипов*
ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

Биомаркеры (БМ) радиационной патологии подразделяются на БМ самого факта облучения и его дозы, чувствительности к облучению и отдаленных эффектов (преимущественно канцерогенных). Этот ряд можно расширить за счет БМ-в эффективности противолучевых средств (ПЛС). Последние прямо соотносятся с понятиями индикаторов или маркеров повышенной радиорезистентности, предложенными ранее и включенными в Бинарную классификацию ПЛС. БМ ПЛС помимо вскрытия механизмов защиты и лечения лучевых поражений призваны решить проблему 2-й стадии клинических испытаний без лучевого воздействия на пациента.

Целью исследования является выявление биомаркеров эффективности ПЛС 2-х различающихся по механизмам действия групп (радиопротекторов-РП и радиомодификаторов-РМ). Использовали из РП индралин и рибоксин (Риб), из РМ беталейкин (Бл) и отечественный флагеллин (Фл).

Методы исследования включали оценку на R-облученных С57В1/6 и аутбредных мышах СД-1 выживаемости (при остром облучении), показателя γ H2АХ-позитивных клеток, детектирующих двойные разрывы ДНК (в клетках селезенки), уровня полихроматофильных эритроцитов с микроядрами (ПХЭ-МЯ) в костном мозге, экспрессию разных генов и некодирующих РНК в костном мозге (по измерению мРНК генов, а также микро и длинных РНК методом ПЦР в режиме реального времени). Биомаркерные свойства показателей оценивали по их корреляции с выживаемостью или выходом опухолей у контрольных животных и при введении разных ПЛС.

Результаты. Для острого облучения защитный эффект, коррелирующий с показателем выживаемости, проявил ПХЭ-МЯ при использовании как РП так и РМ, а γ H2АХ – только в случае РП.

На модели низкомощностного (1 сГр,мин) пролонгированного (21 ч) облучения (НМПО) мышей оценивали корреляцию,главным образом, между экспрессией разных генов и регулирующих РНК и выходом опухолей через 10 мес после облучения. Опухоли - злокачественные лимфомы разной локализации, их выход у интактного контроля и облученных мышей различается незначимо (на разные сроки после облучения приход ится по 1 опыту). Выявлена корреляция выхода опухолей через 10 мес после воздействия (при профилактическом однократном введении Бл, Фл и Риб) с γ H2АХ, микроРНК *mir125* и длинная РНК *lncp21* (оценка на срок 10 мес), NF-kB и микроРНК *mir125* (оценка обоих на срок 8 мес, т.е.предваряющий выход опухолей).

Заключение. С точки зрения перспективности исследованных БМ-ПЛС для человека плюсом для γ H2АХ является возможность его оценки в крови через 24 ч после облучения (значения в крои и селезенке через 1 ч и 24 ч не различались значимо), а также выявленная дозовая зависимость в интервале 0-5 Гр. Показатель ПХЭ-МЯ имеет значимую дозовую зависимость только в диапазоне 0-1 Гр и по определению измеряется только в костном мозге. Так как оба показателя (γ H2АХ и ПХЭ-МЯ) представляют собой ранние радиационные повреждения, то они не годятся для использования у человека в качестве маркеров состояния повышенной радиорезистентности после введения РП. Они подходят для ускоренной оценки в эксперименте возможного эффекта защиты от использованного ПЛС. Что же касается оценки вероятности канцерогенного эффекта или возможности его модификации, то тут больше подходят показатели экспрессии различных генов или некодирующих РНК.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФЛАГЕЛЛИНА ПО ТЕСТАМ ВЫЖИВАЕМОСТИ И МИКРОЯДЕР

К.Ю. Романова, Н.И. Лисина, Л.П. Сычева, Л.М. Рождественский

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

kysukyxa@mail.ru

Способность флагеллина защищать подопытных животных при введении его в относительно малых дозах за короткое время до и после облучения в летальных дозах была отмечена рядом зарубежных и отечественных авторов. Также отмечена хорошая переносимость препарата без выраженного побочного действия при применении увеличенной на порядок дозы. В ФМБЦ им. А.И. Бурназяна уже в течение длительного времени проводятся исследования противолучевой эффективности флагеллина в разных схемах - при профилактическом и лечебном его применении.

Целью данного исследования была сравнительная оценка эффективности отечественного препарата флагеллин (разработка ГНИИ особо чистых биопрепаратов, СПб) в расширенном диапазоне сроков введения препарата до и после облучения, а также оценка возможности использования при этом в качестве биомаркера его эффективности микроядерного теста.

Работа выполнена на мышах самцах ICR CD1 массой 20-22 г. Радиозащитную эффективность флагеллина оценивали по 30-суточной выживаемости подопытных животных в сравнении с контрольными группами. Цитогенетический эффект оценивали микроядерным тестом в полихроматофильных эритроцитах (МЯ-ПХЭ) костного мозга. Облучение проводили на R-аппарате РУСТ-М1 при мощности дозы 1,1 Гр/мин в интервале доз от 7 до 10 Гр при оценке выживаемости и в дозе 1 Гр для микроядерного теста. Флагеллин вводили внутривентрально по 0,2 мг/кг за 18 ч, 30 минут до облучения, через 10 и 30 минут после облучения. Животным контрольных групп в те же сроки и в том же объеме вводили фосфатно-солевой буфер. Опыты проведены в 3-х повторах.

Наиболее эффективным оказалось применение флагеллина за 30 минут и через 10 мин по отношению к облучению (выживаемость при 8,5 Гр 92% и 78%, при 9 Гр 81% и 55% соответственно) при выживаемости в контроле 29% и 0. При наиболее исследованном варианте введения флагеллина за 30 мин до облучения значения ФИД на уровне общепринятых оценок LD16, LD50, LD84, составили 1,21; 1,19 и 1,16.

При изучении антимуtagenной активности препарата по МЯ-ПХЭ защитный эффект обнаружен при всех вариантах введения и в целом коррелировал с оценками по выживаемости. При этом значения ФИД оказались существенно выше, чем по интегральному показателю выживаемости (2,3 и 3,6 при сроках введения за 30 мин и через 10 мин после облучения). Это может быть связано с отличием доз облучения, при которых оценивалась эффективность флагеллина по указанным показателям.

Представляет интерес еще больше расширить временной диапазон применения флагеллина, особенно после облучения. Использование метода оценки доли полихроматофильных эритроцитов с микроядрами в костном мозге позволило выявить оптимальные сроки введения препарата намного быстрее, чем по выживаемости, так как ответ по МЯ-ПХЭ получили раньше (МЯ-ПХЭ тест осуществляли через 24 часа после облучения). Показатель МЯ-ПХЭ может рассматриваться как потенциальный биомаркер медикаментозно повышенной радиорезистентности (ранее это было показано в наших исследованиях в отношении беталейкина, индралина и рибоксина). Целесообразно внедрить микроядерный тест на лимфоцитах крови как позволяющий проводить исследования в более широком диапазоне доз облучения и проверить возможность его использования на более отдаленные сроки после облучения.

НОВОЕ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ РОССИИ О РЕГИСТРАЦИИ РАДИОЗАЩИТНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

К.С. Семенович

ООО «Специальная и медицинская техника», Санкт-Петербург, Россия

e-mail: jur.k@yandex.ru

Федеральным законом от 12.04.2010 № 61-ФЗ «Об обращении лекарственных средств» предусматривается, что государственная регистрация лекарственных средств, которые предназначены для применения в условиях военных действий, чрезвычайных ситуаций, предупреждения чрезвычайных ситуаций, профилактики и лечения заболеваний, представляющих опасность для окружающих, заболеваний и поражений, полученных в результате воздействия неблагоприятных химических, биологических, радиационных факторов осуществляется в порядке, установленном Правительством РФ. До опубликования нормативно-правового акта, регулирующего данную сферу, необходимость упрощения регистрации радиопротекторов была объектом пристального внимания общественности. Указанный порядок был утвержден Постановлением Правительства РФ от 03.04.2020 № 441 «Об особенностях обращения лекарственных препаратов для медицинского применения, которые предназначены для применения в условиях угрозы возникновения, возникновения и ликвидации чрезвычайной ситуации» (начало действия документа 14.04.2020).

Цель исследования: оценка действующего порядка регистрации радиозащитных лекарственных препаратов в Российской Федерации.

Материалы и методы. Материалами для исследования послужили законодательные акты и нормативно-правовые документы в сфере регистрации лекарственных препаратов по состоянию на май 2020 года. Оценка существующего порядка регистрации проводилась методами логического и системного анализа.

Результаты. Согласно введенному Порядку, госрегистрация проводится Минздравом РФ в срок, не превышающий 20 рабочих дней со дня поступления регистрационного досье. Документы для регистрации могут быть представлены не в полном объеме. В части клинической документации допускается представление заявителем сводного краткого отчета об имеющихся на момент подачи заявления о государственной регистрации лекарственного препарата результатах изучения эффективности и безопасности лекарственного препарата в рамках клинических исследований, содержащего всю доступную информацию о физических, химических, фармацевтических, фармакологических, токсикологических, фармакокинетических, метаболических и клинических свойствах лекарственного препарата. Достаточным для регистрации также становится представление результатов доклинических исследований, на основании которых выявлен благоприятный эффект на животных, установлен положительный результат действующего вещества лекарственного препарата и может быть определена наиболее эффективная доза для человека.

Выводы. Постановление Правительства РФ от 03.04.2020 № 441 имеет ограниченный срок действия – до 01.01.2021, и принято оно исключительно в рамках реализации мер по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия, в связи с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в России. Значит, по истечении действия Порядка вновь активизируется обсуждение регистрации радиопротекторов, ведь доступ к документам, регулирующим порядок их введения в обращение на территории РФ остается ограниченным и о его наличии без раскрытия содержания исследователи, разработчики не поставлены в известность.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ИММУНОБИОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЗАЩИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

А.С.Симбирцев

Государственный НИИ особо чистых биопрепаратов ФМБА России
a.s.simbirtsev@hpb.spb.ru

В связи с активным использованием ядерной энергии в мире не прекращаются случаи возникновения аварийных ситуаций, приводящих к угрозе облучения людей. Освоение космоса ставит новые задачи по эффективной защите космонавтов от длительного низкодозового облучения. Кроме того сохраняется опасность применения ядерного оружия с непредсказуемыми последствиями по масштабам возможного воздействия на человека ионизирующего излучения. Все это делает чрезвычайно актуальной проблему поиска и разработки новых эффективных радиозащитных средств. Среди радиозащитных средств в последние годы появились несколько препаратов, относящихся к группе иммунобиологических. К их числу относятся бактериальные производные, в частности препараты на основе флагеллина и бета-D-глюкана, механизм действия которых связан с индукцией синтеза эндогенных цитокинов и активацией системы врожденного иммунитета. Безусловно цитокины представляют собой семейство регуляторных молекул, которым в последние годы уделяется особое внимание как наиболее эффективным радиозащитным средствам. Препараты рекомбинантных цитокинов, стимулирующих кроветворение (колониестимулирующие факторы и интерлейкин-1 бета), показали себя мощными средствами защиты от радиации. В клинических исследованиях у онкологических больных, перенесших высокодозную радиационную и химиотерапию, применение этой группы препаратов сокращало сроки и глубину лейкопении, приводило к более быстрому восстановлению кроветворения. Перспективным представляется использование для радиозащиты комбинированных препаратов на основе цитокинов или их индукторов и препаратов, блокирующих кислородные радикалы, например, фермента супероксиддисмутазы.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ГЕНИСТЕИНА КАК ПЕРСПЕКТИВНОЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СУБСТАНЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ

О. Ю. Стрелова, Л. С. Теслов, К. В. Волкова

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет
Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия
olga.strelowa@pharminnotech.com

Одним из приоритетных направлений развития современной медицины является поиск новых высокоэффективных лекарственных препаратов с широким спектром фармакологического действия и низкой токсичностью. Большой интерес в этом плане представляют вещества природного происхождения, в частности генистеин – природный изофлавоны, в значительном количестве представленный в растениях семейства *Бобовые (Fabaceae)*. Показана радиопротекторная активность генистеина при его введении до острого облучения (Weiss J.F., Landauer M.R., 2003; Landauer M.R. et al, 2003; Davis T.A. et al., 2007; Тарумов Р.А. и др., 2014; Гребенюк А.Н. и др., 2015).

Целью исследования являлось определение показателей качества отечественного синтетического генистеина как потенциальной новой фармацевтической субстанции для разработки перспективных противолучевых средств.

Материалы и методы. Использованный в работе синтетический генистеин был предоставлен к.х.н. В.Ю. Ковтуном (НПЦ «Фармзащита» ФМБА России). В качестве препарата сравнения использован природный генистеин, выделенный из жмыха семян сои культурной (*Glycine max L. Merr.*) в ФГБОУ ВО СПХФУ. Ультрафиолетовый спектр записывали на спектрофотометре UV/VIS UV-Mini-1240 Shimadzu. Температуру плавления определяли на малогабаритном нагревательном столе Mikro-Heiztisch «BOETIUS» с визуальным устройством РНМК 05 по стандартной методике. Исследование методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором (ГХ-МС) проводили на газовом хроматографе Agilent Technologies 7890A с автоинжектором 7693 и масс-селективным детектором 5975С фирмы «Hewlett Packard».

Результаты. Были проведены исследования природного и синтетического генистеина по обозначенным в Государственной фармакопее РФ XIV издания показателям, определены физико-химические свойства синтетического генистеина. Температура плавления обоих образцов находится в пределах 305-308°C. В ультрафиолетовой области отмечается максимум поглощения при длине волны 261,5 нм, удельный показатель поглощения $E_{1\text{см}}^{1\%} = 1369.8 \pm 55$. Анализ методом ГХ-МС показал в природном генистеине наличие двух пиков веществ со временами удерживания 13.71 и 13.76 мин, в синтетическом образце отмечался один пик 13.76 мин и масс-спектром с m/z 486.2, базовый пик 207.0 и осколочные пики ионов 73.0, 228.0, 281.0, 399.1, 471.1, что с вероятностью не ниже 90% совпало со спектром, представленным в библиотеке прибора. В природном образце обнаружена также родственная примесь изофлавоны – дайдзеина.

Выводы. Определены показатели качества синтетического генистеина: описание, растворимость, подлинность (цветные реакции, УФ-спектрофотометрия и ИК-спектроскопия), температура плавления, удельный показатель поглощения, а также его хроматографическая подвижность и масс-спектр, которые будут необходимы при разработки фармацевтической субстанции для перспективного противолучевого средства. Кроме того, исследованная субстанция синтетического генистеина может быть использована в качестве стандартного образца для количественного определения данного изофлавоны в биологически активных добавках и лекарственных средствах.

НАРУШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА РАННЕГО НАРУШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

П.В. Тихомиров, Д.В. Ремизов, А.Ю. Кондаков

Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
tikhomirov.pavel1961@gmail.ru

Известно, что радиационное воздействие в высоких (поражающих) дозах вызывает выраженное снижение физической работоспособности в первые часы после облучения, что имеет важное практическое значение для боевых условий, для лиц ряда профессий (участие в ликвидации последствий радиационных аварий на АЭС и др.). Причины данных нарушений окончательно не установлена, однако определенную патогенетическую роль можно отвести нарушениям центрального энергетического обмена.

Целью работы явилось исследование корреляционных взаимоотношений между показателями энергетического обмена в коре головного мозга с физической работоспособностью животных, облученных в высоких дозах.

Материалы и методы. Белых беспородных крыс массой 180-200 г подвергали кранио-каудальному облучению на установке ИГУР-1 в дозах 70 Гр и 140 Гр (источник Cs¹³⁷, мощность дозы 18,2 Гр/мин). Физическую работоспособность оценивали методом многократного скоростного плавания. Состояние энергетического обмена оценивали по содержанию адениловых нуклеотидов в нейронах коры головного мозга.

Результаты. Проведенные исследования показали, что в первые 3-4 ч после облучения крыс в дозе 70 Гр происходит снижение работоспособности на 20–30 %, а в дозе 140 Гр - более чем в 2 раза относительно показателя, зарегистрированного у необлученных животных. Установлено, что воздействие ионизирующего излучения в указанных дозах вызывает значительные изменения в содержании адениловых нуклеотидов в коре головного мозга крыс. Согласно полученным данным, через 5 мин после радиационного воздействия в дозе 70 Гр содержание АТФ в коре головного мозга снижалось на 20 %, а концентрация АМФ увеличивалась на 15 % по сравнению с исходным уровнем. Через 60 мин отмечается восстановление концентрации АТФ, тогда как уровень АМФ продолжал нарастать (до 35 % от исходного). При облучении животных в дозе 140 Гр направленность пострадиационных изменений содержания адениловых нуклеотидов была такой же, тем не менее выраженность этих нарушений была существенно выше.

Несмотря на быструю нормализацию уровня АТФ в коре головного мозга, значение коэффициента АТФ/АМФ, характеризующее степень дегградации АТФ, в течение всего периода наблюдения продолжало оставаться существенно ниже исходного уровня, главным образом, за счет стойкого и прогрессирующего увеличения АМФ.

Вывод. Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о корреляции между снижением содержания АТФ в коре головного мозга крыс и нарушением физической работоспособности. Полученные результаты указывают на направление поиска стимуляторов работоспособности среди препаратов, предотвращающих нарушения энергетического обмена, индуцированные облучением.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ AraC (ЦИТАРАБИН) И ПРОТОНОВ НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ КРЫС

Д.М. Утина, К.Н. Ляхова, И.А. Колесникова

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

Utinad@gmail.com.

Цель: Данное исследование направлено на изучение побочных эффектов синтетического нуклеозида AraC (цитарабин) - противоопухолевого препарата на поведенческие реакции половозрелых крыс после тотального облучения протонами в дозе 3Гр.

Материалы и методы: Эксперимент проведен на половозрелых самцах крыс линии Sprague Dawley. Животные были облучены тотально ускоренными протонами с энергией 150 МэВ напролет на медицинском пучке фазотрона ОИЯИ (г. Дубна). Доза облучения составляла 3 Гр. Облучаемым и контрольным животным вводили дозу AraC 0,4 г/м2 за 1-1,5 ч до облучения в хвостовую вену. AraC разводили в физрастворе. Оценка поведенческих показателей проводилась по уровню локомоторной активности в тестовой установке «Открытом поле» (ОП). Тестирования проводились на 1, 30 и 90 сутки после облучения и введения AraC. В течение 6 мин учитывали акты пересечения секторов, проходы через центр, подъем, норковый рефлекс. Сумма этих актов составила показатель ориентировочно-исследовательской реакции (ОИР), а акты груминг, замирание, движение на месте – показатель эмоционального статуса (ЭС). Во время тестирования проводили видеорегистрацию поведения животных и последующий анализ видео с использованием программного комплекса EthoVision XT 13 (Noldus Technology, Нидерланды).

Результаты: При анализе поведенческих реакций в тест-системе "Открытое поле" у не облученных животных с введенным AraC было выявлено статистически значимое снижение количества вертикальных стоек и ОИР/ЭС, повышение количества замираний и ЭС на 1 сутки после введения препарата. Но к 90 суткам ЭС и количество вертикальных стоек снижается, а ОИР/ЭС повышается по сравнению с интактной группой. В группе животных, облученных протонами в дозе 3 Гр, наблюдалось статистически значимое снижение количества пересеченных секторов и ОИР на 1 сутки после облучения по сравнению с контрольной группой. На 30 сутки после воздействия протонами статистически значимо повысилось количество движений на месте и норкового рефлекса. Статистически значимые различия между группой контроля и животных, подвергнутых комбинированному воздействию протонов и AraC, было выявлено на 1 сутки после облучения. Наблюдалось снижение двигательной активности, исследовательской реакции и ОИР. В то же время повышение количества замираний. Спустя 3 месяца после облучения и введения AraC, статистически значимо снизилось количество груминга в группе с воздействием, по сравнению с контрольной группой.

При анализе поведенческих реакций на 1 сутки после облучения выявлено статистически значимое снижение ориентировочно-исследовательской реакции в группе облученных животных с введением AraC относительно группы, которой вводился только AraC. На 90 сутки после облучения и введения препарата статистически значимо снизилось количество заходов в центр арены по сравнению с только облученными животными, что свидетельствует о снижении тревожности в этой группе.

Выводы: Таким образом комбинированное воздействие синтетического нуклеозида AraC (цитарабин) AraC и протонного облучения через одни сутки после воздействия радиации обуславливает снижение ориентировочно-исследовательской реакции, вызываемое введением AraC.

ИНГИБИТОРЫ NOS КАК ОСНОВА НОВОГО КЛАССА ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОМОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ И ОНКОЛОГИИ

М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, А.С. Филимонов, М.В. Макаrchук, А.С. Сабурова, А.А. Шитова, О.В. Солдатова

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск, Россия
mari_fil@mail.ru

Высокая противолучевая активность ингибиторов синтаз оксида азота (NOS) привлекла внимание радиобиологов задолго до открытия биологических функций эндогенного NO. Благодаря наличию химической группировки, изостеричной гуанидиновой группе L-аргинина, такие соединения способны выполнять роль псевдосубстрата NOS. Этот специфический механизм придаёт им широкие возможности модифицирования радиационного воздействия – как радиопротекторов, радиомитигаторов и средств профилактики осложнений радиотерапии. В целом, анализ литературы и результаты наших собственных исследований свидетельствуют о становлении нового класса радиомодификаторов - ингибиторов NOS.

Радиозащитный эффект ингибиторов эндотелиальной NOS реализуется по механизму подавления эндотелий-зависимого eNOS/sGC/cGMP пути релаксации сосудов, что приводит к вазоконстрикции и развитию транзиторной гипоксии. Важными характеристиками ингибиторов NOS являются не только их высокая эффективность (ФИД разработанных нами радиопротекторов - производных изотиомочевины (ИТМ), составляет 1.6–1.8), но и относительная безопасность (ЕД50 – 1/4–1/6 ЛД16), в отличие от радиопротекторов других классов (аминотиолы, индолилалкиламины), эффективных лишь в субтоксических дозах.

Противолучевой эффект ингибиторов NOS синергически возрастает при их сочетанном применении с вазоактивными радиопротекторами, реализующими гипоксию по иному механизму: активации эндотелий-независимого вазопрессорного PLC/IP3/PKC пути. Так, нами разработана высокоперспективная комбинация NOS-ингибитора T1023 и 5-метокситриптамина, с ФИД 1.9–3.1 и терапевтическим индексом 20–25.

Нами продемонстрирована эффективность ингибиторов NOS и в качестве радиомитигаторов: 1-2-кратное введение T1023 на 3-6 сутки после облучения значительно снижает тяжесть течения ОЛБ у мышей и статистически значимо повышает их выживаемость при средне- и абсолютно летальных дозах γ -излучения. Разработка средств терапии ОЛБ, включающих ингибиторы NOS, представляется весьма перспективной.

Кроме того, ингибиторы NOS имеют значительный потенциал для радиационной онкологии. На экспериментальных моделях однократной и фракционированной радиотерапии у мышей и крыс показано, что разработанные нами производные ИТМ способны селективно защищать нормальные соматические ткани (ФИД 1.4–1.7), не снижая противоопухолевой эффективности локального облучения неоплазий (саркома M1, карцинома Эрлиха). NOS-ингибиторы статистически значимо снижали тяжесть ранних (острые лучевые повреждения кожи) и отдалённых (лучевой пневмофиброз) лучевых повреждений.

Таким образом, радиомодифицирующий потенциал ингибиторов NOS – производных ИТМ позволяет рассматривать их как перспективную основу для создания инновационных фармакологических средств для радиационной безопасности, ядерной медицины и онкологии.

ВЛИЯНИЕ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ СТВОЛОВЫХ КРОВЕТВОРНЫХ КЛЕТОК У МЫШЕЙ ПОСЛЕ ОСТРОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ

И. А. Шапошникова¹, Е. А. Пряхин¹, И. В. Чурилова², А. Н. Гребенюк², А. В. Аклеев^{1,3}

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

² Государственный НИИ особо чистых биопрепаратов ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия

³ Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
shaposhnikova@lenta.ru

Одним из главных механизмов неспецифической защиты органов и тканей от неблагоприятных факторов является активность антиоксидантных систем, защищающих живые клетки от свободнорадикального повреждения. Антиоксидантные ферменты, такие как супероксиддисмутаза (СОД), играют ключевую роль в снижении оксидативного стресса. СОД является перспективным средством для профилактики и лечения радиационных поражений.

Целью данного исследования является оценка радиозащитного действия рекомбинантной человеческой супероксиддисмутазы, полученной в ГосНИИ ОЧБ ФМБА России (торговое наименование Рексод®).

Материалы и методы. Оценивали влияния СОД на выживаемость и пролиферативную активность гемопоэтических стволовых клеток после острого внешнего гамма-облучения у мышей. Работа была выполнена на кондиционных половозрелых мышах самцах инбредной линии C57B1/6 SPF категории (питомник ИЦИГ, Новосибирск) в возрасте 2,0-2,5 месяца с массой тела 20-23 г. Облучение мышей проводили на установке ИГУР-1М, мощность дозы гамма-излучения составляла 0,78 Гр/мин., неравномерность гамма-поля в рабочем пространстве не более 5 %.

СОД вводили мышам однократно, внутрибрюшинно в объеме 1 мл (180 мг/кг) за 15 минут до облучения в сублетальной дозе 4 Гр, мышам контрольной группы – внутрибрюшинно вводили физиологический раствора в те же сроки и в том же объеме.

Результаты. Было показано, что изучаемый препарат СОД повышает выживаемость стволовых клеток у мышей в тесте оценки КОЕс (эндоколонии) после острого тотального гамма-облучения в дозе 4 Гр при внутрибрюшинном введении в дозе 180 мг/кг за 15 минут до облучения. Этот эффект был подтвержден в двух сериях независимых экспериментов. Было выявлено, что СОД приводит к повышению количества эритроцитов и лейкоцитов в периферической крови облученных мышей, а также к повышению количества ядерных клеток в тимусе облученных животных, по сравнению с облученным контролем. Было выявлено стимулирующее действие СОД на эритропоэз и на количество ядерных клеток в тимусе у необлученных животных, что открывает новые перспективы применения этого препарата и требует прояснения механизмов выявленных эффектов.

Выводы. Полученные результаты указывают на то, что СОД производства ГосНИИ ОЧБ ФМБА России является перспективным средством, с точки зрения его применения для профилактики и лечения лучевых поражений.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ БЕЛКОВ-АНТИОКСИДАНТОВ СЕМЕЙСТВА ПЕРОКСИРЕДОКСИНЫ

М. Г. Шарапов¹, В. И. Новосёлов¹, В. И. Брусков², С. В. Гудков^{3,4}

¹ Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Россия

² Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия

³ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

⁴ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

S_makariy@rambler.ru

Пероксиредоксины (Prx) – эволюционно древнее семейство пероксидаз, которые играют важную роль в поддержании окислительно-восстановительного гомеостаза клетки. Эти ферменты обладают широкой субстратной специфичностью и нейтрализуют гидропероксиды как органической, так и неорганической природы. **Целью** данного исследования является исследование радиозащитных свойств белков семейства пероксиредоксины.

Материалы и методы. Получены рекомбинантные белки Prx1, Prx2, Prx6, PSH и их мутанты. Экспериментальные исследования выполнены на самцах мышей линии Kv:SHK массой тела 18-22 г и клеточных культурах. Биообъекты подвергали тотальному рентгеновскому облучению на установке РУТ-15 (1 Гр/мин, 15 мА, 200 кВ, $F_0=37,5$ см). Исследовалась выживаемость животных и клеток, гематологические показатели, клеточные показатели, поврежденность ДНК, экспрессия генов и сигнально-регуляторные пути на которые воздействуют белки семейства Prx.

Результаты. Введение Prx животным до воздействия ионизирующей радиации способствует существенному росту выживаемости, подавляет развитие лейкоцитопении, тромбоцитопении, предотвращает повреждения геномной ДНК в клетках костного мозга. Наиболее эффективным является внутривенное введение Prx за 15 мин до облучения в концентрации порядка 20 мкг/г. Кроме того, введение Prx способствует подавлению апоптоза и стимулирует пролиферацию клеток, а также способствует более быстрому восстановлению их редокс статуса. Фактор изменения дозы при использовании разных белков лежит в диапазоне 1,2-1,4. Экзогенный Prx нивелирует адаптивный ответ клеток на действие ионизирующей радиации. Радиозащитные свойства Prx связаны с его широкосубстратной пероксидазной активностью, шаперонной активностью, проявляющейся в окисленном состоянии, а также благодаря сигнально-регуляторной функции Prx, опосредованной регуляцией уровня гидропероксидов, взаимодействием с редокс-чувствительными регуляторными белками, а также через взаимодействие Prx с TLR4.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что белки семейства пероксиредоксины эффективно защищают лабораторных животных от пагубного действия ионизирующей радиации. Рекомбинантные пероксиредоксины и их химеры можно рассматривать как перспективные радиозащитные агенты по минимизации рисков связанных с воздействием ионизирующего излучения на организм млекопитающих.

Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований (20-34-70037 и 19-04-00080)

СЕКЦИЯ № 8
РАДИОБИОЛОГИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ.
КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ИОНОВ УГЛЕРОДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛИНЕЙНОЙ
ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70 ПРИ
ТОТАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ МЫШЕЙ ПО ТЕСТУ 30-СУТОЧНОЙ
ВЫЖИВАЕМОСТИ**

*Т.А. Белякова¹, О.М. Розанова², Е.Н. Смирнова², С.И. Заичкина², А.Р. Дюкина²,
С.С. Сорокина², В.А. Пикалов³*

¹Физико-технический центр Физического института им. П.Н.Лебедева, Протвино,
Россия

²Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия

³Институт физики высоких энергий имени А.А. Логонова Национального
исследовательского центра «Курчатовский институт», Протвино, Россия
belyakovata@lebedev.ru

Для биологической характеристики источника ускоренных ионов углерода, необходимой для расчетов максимально эффективных и переносимых доз радиотерапии, требуется определение коэффициентов относительной биологической эффективности (ОБЭ) с использованием лабораторных животных.

Целью данного исследования являлось определение коэффициента ОБЭ ионов углерода в зависимости от линейной передачи энергии (ЛПЭ) при облучении мышей в дозе 6.5 Гр в разных областях кривой Брэгга по тесту 30-суточной выживаемости.

Исследования проводили на двухмесячных самцах белых беспородных мышей линии SHK весом 26–34 г. Мышей по две особи в специальном контейнере (70*25*70 мм) облучали моноэнергетическим пучком ядер углерода в дозе 6.5 Гр в трех основных областях кривой Брэгга – до пика, в модифицированном пике (ширина пика 10 мм и 30 мм) и после пика перпендикулярно направлению пучка на установке «Радиобиологический стенд на углеродном пучке У-70». Энергия пучка на выходе ускорителя составляла 450 МэВ/нуклон при мощности дозы до пика – 0.8 Гр/мин, в пике – 1.6 Гр/мин, после пика – 0.3 Гр/мин. Перед облучением мышей наркотизировали ксилазин-золетиловой смесью для корректной локализации при облучении в водном фантоме. Контрольная группа мышей так же была наркотизирована и облучена в дозе 6.5 Гр рентгеновским излучением (200 кВ). Расчетные значения ЛПЭ ионов углерода составляли при облучении до пика Брэгга – 15 кэВ/мкм, после пика – 5 кэВ/мкм, в модифицированном до 10 мм пике – 100 кэВ/мкм, а пике Брэгга шириной 30 мм – 39 кэВ/мкм.

На основе результатов были определены коэффициенты ОБЭ при облучении до пика Брэгга – 0.8, в пике – 1.5 и после пика – 0.7. Были вычислены также значения ОБЭ по соотношению доз для разных уровней выживаемости мышей, которые изменялись при облучении в пике Брэгга от 1.6 до 2.9, а при облучении до пика – от 0.4 до 0.8. Эти данные демонстрируют существенные различия при действии ионов углерода и рентгеновского излучения на разных этапах развития биологического эффекта, что важно учитывать при сравнении значений ОБЭ.

Определение ОБЭ ионов углерода в разных областях кривой Брэгга при тотальном облучении млекопитающих, которые образуют мишень большого объема и сложности, является необходимым этапом для дальнейшей адаптации исследуемого пучка ионов для терапевтических целей и экстраполяции экспериментальных данных при оценке радиационного риска космических экипажей от галактического излучения.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И МЕХАНИЗМОВ
ФОРМИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ НАРУШЕНИЙ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ
СТРУКТУРАХ КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ И ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЕЙСТВИИ
УСКОРЕННЫХ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ
ЭНЕРГИЙ**

*А.В. Борейко^{1,2}, М.Г. Заднепрянец¹, Е.А. Красавин^{1,2}, Е.А. Куликова¹,
Е.В. Смирнова¹, Г.Н. Тимошенко^{1,2}, Т.С. Храмко^{1,2}*

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

bulanova_tatyan@mail.ru

Использование иммунохимических методов определения повреждений генетических структур в клетках высших эукариот при действии ионизирующих излучений разного качества позволяет получить не только количественную, но и качественную информацию о формируемых нарушениях. В ходе экспериментов с ускоренными тяжёлыми ионами широкого диапазона линейных передач энергии (ЛПЭ) установлены дозовые зависимости частоты образования радиационно-индуцированных фокусов (РИФ) в клетках человека. Выявлена большая эффективность их формирования при действии тяжёлых заряженных частиц по сравнению с γ -облучением. Обнаружено отклонение от линейного характера дозовой зависимости частоты образования РИФ при высоких дозах облучения. Показано, что при действии на клетки тяжёлых ионов по сравнению с γ -квантами наблюдается более высокая скорость достижения максимального количества РИФ и замедленная кинетика их элиминации. На основе дифференцированного анализа отдельных фокусов в трехмерных изображениях, реконструирующих весь объем клеточного ядра, проведен детальный анализ структуры сложно организованных кластеров повреждений в треках ускоренных ионов и исследованы различия в их морфологии. Установлено, что при действии ускоренных тяжёлых ионов низких и промежуточных энергий, в отличие от γ -облучения, формируются сложноорганизованные кластеры, включающие до шести и более индивидуальных фокусов. Выявлено изменение структуры, размера и формы кластерных повреждений, зависимое от величины ЛПЭ частиц.

Показано замедление кинетики элиминации радиационно-индуцированных фокусов в клетках при действии тяжёлых ионов по сравнению с γ -облучением. Сделан вывод о том, что изменение кинетики связано с характером микрораспределения энергии тяжёлых заряженных частиц в генетических структурах и формированием трудно репарируемых комплексных двунитевых разрывов ДНК. При исследовании кинетики формирования и элиминации РИФ при действии ускоренных ионов бора, азота и неона с различными физическими характеристиками установлено, что с уменьшением энергии частиц и возрастанием их ЛПЭ наблюдается снижение эффективности репарации двунитевых разрывов ДНК. Показано, что структура фокусов при действии ускоренных ионов с разными физическими характеристиками также различна. Ионы неона с высокой плотностью δ -электронов в треке индуцируют более крупные и сложно организованные кластерные фокусы.

Полученные материалы представляются важными при решении широкого круга вопросов, рассматриваемых космической радиобиологией, радиационной медициной, радиационной генетикой.

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В КОСТНОМ МОЗГЕ МЫШЕЙ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ И ГАММА-КВАНТАМИ

Т.М. Бычкова

¹ ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Москва, Россия

² ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
taisiabichkova@mail.ru

При взаимодействии быстрых нейтронов с клетками вещества возникают протоны отдачи, которые отличаются высокой способностью к ионизации. Высокие значения ЛПЭ (линейной передачи энергии) вторичных заряженных частиц, которые возникают при взаимодействии нейтронов с ядрами атомов облучаемого вещества, обуславливает высокий радиобиологический эффект. Изучение процессов воздействия нейтронов на цитогенетический аппарат клеток костного мозга *in vivo*, как наиболее радиочувствительного органа, является одним из важных аспектов в общем понимании радиобиологических закономерностей, а также для обоснования мер по обеспечению радиационной безопасности на атомных предприятиях и во время космических полетов.

Целью нашего исследования стало изучение влияния быстрых нейтронов на цитогенетический аппарат клеток костного мозга мышей *in vivo*, и вычисление значений ОБЭ на разные сроки после облучения.

Материалы и методы. В экспериментах было использовано 200 мышей самцов гибридов F1(CBAxС57Bl6) массой 16-18 г. Животных облучали тотально быстрыми нейтронами в дозах от 25 до 250 сГр с мощностью дозы 23,9 сГр/сек. В качестве стандартного было использовано γ -излучение ^{60}Co . Через 24 и 72 часа после облучения эвтаназию животных осуществляли методом цервикальной дислокации. Для цитогенетического анализа клеток костного мозга использовали анафазный метод.

Результаты. Быстрые нейтроны с энергией 1,5 МэВ обладают более высокой биологической эффективностью по сравнению с γ -лучами - коэффициенты ОБЭ быстрых нейтронов через 24 и 72 часа после облучения по критериям снижения митотического индекса, а также образования аберрантных митозов при дозах от 25 до 250 сГр оказались в пределах от $4,1 \pm 0,1$ до $7,3 \pm 0,1$. Среднее время существования хромосомных aberrаций в клетках костного мозга для γ -лучей в пределах исследуемых доз оказалось равно: 1,4-1,1 циклов, а для нейтронов 1,0-0,6 цикла. Морфологический анализ развивающихся нарушений и соотношения основных форм поломок клеток показал высокий выход aberrаций обменного типа (мостов), содержание которых в 3-4 раза превышало количество клеток с фрагментами, что свидетельствует о более глубоком нарушении генетических структур клеток костного мозга после облучения быстрыми нейтронами с энергией 1,5 МэВ. ОБЭ быстрых нейтронов является переменной величиной, которая увеличивается при увеличении дозы облучения, кроме того, величина ОБЭ, оцененная через 72 часа после облучения, превышает значения, полученные через 24 часа после облучения быстрыми нейтронами.

Заключение. Установленные особенности радиационных эффектов γ -лучей ^{60}Co и нейтронов с энергией 1,5 МэВ в дозах 25-250 сГр подтверждают и дополняют имеющиеся в литературе сведения, полученные в экспериментах, и могут быть учтены при расчетах коэффициентов качества космического излучения.

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ОБЕЗЬЯН ЯДРАМИ КРИПТОНА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И.Н.Клоц¹, И.В.Кошлань², Г.Н. Тимошенко², Т.Е. Гвоздик¹, Д.Д. Карал-оглы¹, И.А.Гварамия¹, О.А. Шамсутдинова¹, Е.И.Мухаметзянова¹, Е.А.Красавин², Б.А.Лапин¹

¹ Научно-исследовательский институт медицинской приматологии, Сочи, Россия

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Московская обл., Россия
igor-imp@mail.ru

Основным лимитирующим фактором межпланетных космических полетов является космическая радиация, действию которой будут подвергаться космонавты при выходе космического корабля за пределы магнитосферы Земли. При этом основную опасность представляют галактические космические лучи, особенно, тяжелые ионы, обладающие энергиями в широком диапазоне, вплоть до сверхвысоких энергий. Для разработки методов защиты от таких высокоэнергетических излучений в условиях космического полета необходимо определить наиболее выраженные немедленные и отдаленные изменения в физиологических параметрах и поведении на модели обезьян.

Целью данного исследования является изучение отдаленных (2 года) последствий облучения головы обезьян в область гиппокампа ядрами криптона высоких энергий.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены на 4 самцах макак резус в возрасте 2,5 года на момент облучения. Облучение животных проводили на ускорителе заряженных частиц «Нуклотрон» в Объединенном Институте ядерных исследований, г. Дубна. Длительность облучения обезьян составила 5-8 мин. Поток ядер криптона был направлен на голову животных в область гиппокампа, при этом в малом объеме мозга, куда попадал пучок, локальная доза была до 3 Гр.

Результаты. Установлено, что острое облучение в дозе 3 Гр вызывало существенные отдаленные нарушения в поведении и неврологических реакциях обезьян. Через 1 год после облучения у одной обезьяны с уравновешенным типом поведения, появилось периодическое запрокидывание назад головы, причем эти движения повторялись регулярно с небольшим интервалом времени. У двух других обезьян, которые были отнесены нами к агрессивному типу поведения, произошло резкое увеличение их агрессии, а затем появилось маятникообразное движение головы, также проходившее через небольшие интервалы времени. Была осуществлена попытка высадки 2 обезьян из индивидуальных клеток в клетки группового содержания с подсадкой к ним самок, чтобы оценить изменения в их сексуальном поведении. Одна из обезьян с агрессивным типом поведения через несколько дней совместного пребывания, проявила резкую агрессию по отношению к самкам, покусав их и нанеся им травмы, после чего она была возвращена в индивидуальную клетку. Вторая обезьяна с уравновешенным типом поведения не проявила агрессии, но была полностью индифферентна по отношению к самке. За прошедший год самка не забеременела, что свидетельствует о резком нарушении сексуального поведения самца.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что облучение головы обезьян в область гиппокампа ядрами криптона высоких энергий приводит к выраженным изменениям в их поведении и неврологических реакциях, ставящих под сомнение способность животных вести нормальный образ жизни.

ИНДУКЦИЯ И РЕПАРАЦИЯ КЛАСТЕРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В НЕЙРОНАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ ГРЫЗУНОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С РАЗНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Р. А. Кожина^{1,2}, А. В. Борейко^{1,2}, Е.В. Ильина¹, Е.А. Красавин^{1,2}, Е. А. Кузьмина¹,
С. И. Тиунчик¹, В.Н. Чаусов¹*

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

reginka2195@gmail.com

Среди широкого спектра повреждений ДНК при действии ионизирующих излучений особую роль играют кластерные повреждения (КП), участвующие в формировании летальных и мутагенных эффектов облучения, клеточной трансформации. Представляются важными исследования закономерностей индукции и репарации таких повреждений, изучение структуры КП, выяснение количественного и качественного состава различного типа повреждений, составляющих КП: однонитевых разрывов (ОР), АП-сайтов, двунитевых разрывов (ДР) ДНК.

Суммарное количество повреждений ДНК, включающих АП-сайты, ДР и ОР, можно определить с помощью ферментативного метода ДНК-комет в нейтральных и щелочных условиях, соответственно. Использование ферментов, участвующих в эксцизионной репарации, таких как эндонуклеаза III (ENDOIII) и формамидопиримидин-ДНК-гликозилаза (FPG), позволяет определять структуру КП ДНК, путем преобразования ПО в энзиматические ОР и ДР ДНК.

В работе изучены закономерности индукции и репарации повреждений ДНК в нейрональных клетках млекопитающих *in vitro* при действии излучений с разной ЛПЭ: γ -квантов ^{60}Co и ускоренных ионов азота ^{15}N (ЛПЭ=85 кэВ/мкм). Установлено, что с увеличением ЛПЭ излучения наблюдается возрастание эффективности индукции повреждений ДНК в клетках гиппокампа крыс. При действии ускоренных ионов азота ^{15}N в клетках гиппокампа крыс и в клетках глиобластомы человека линии U87 количество модифицированных пуринов (mPur, в условиях действия FPG) больше, чем количество модифицированных пиримидинов (mPyg, в условиях действия ENDOIII). При этом отношение mPur/mPyg для ОР ДНК как для нейронов гиппокампа, так и для клеток глиобластомы линии U87 близкое по величине и составляет примерно 2,4/1,7. Для ДР ДНК соотношение mPur/mPyg в нейронах гиппокампа и в клетках глиобластомы линии U87 составляет 3,6/2,8 и 2,8/2,4, соответственно.

Проведено исследование влияния ферментов репарации ENDOIII и FPG на выход ОР и ДР ДНК в клетках гиппокампа мышей линии C57Bl *in vivo*. Количество модифицированных при облучении γ -квантами пиримидиновых оснований незначительно превышает количество модифицированных пуриновых оснований. Показано, что в условиях действия ферментов репарации выход как ОР ДНК, так и ДР ДНК возрастает. Увеличение количества ДР ДНК в условиях влияния ENDOIII и FPG свидетельствует об участии модифицированных оснований в формировании кластерных повреждений ДНК. Изучено влияние ферментов ENDOIII и FPG на индукцию и репарацию повреждений ДНК в клетках гиппокампа крыс при действии γ -квантов ^{60}Co *in vivo* в нормальных условиях и в условиях влияния ингибитора репарации - арабинозидцитозина (АраЦ). Показано, что кинетика репарации ОР и ДР ДНК в клетках гиппокампа крыс при действии γ -квантов ^{60}Co в нормальных условиях описывается зависимостью с максимумом, приходящемся на 4 ч после облучения. В условиях влияния АраЦ наблюдается увеличение общего количества повреждений в течение всего пострadiaционного периода. При этом максимум выхода ОР ДНК смещается на 1 ч пострadiaционной инкубации.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ОБЕЗЬЯН *MACACA MULATTA* ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИПОКИНЕЗИИ И ОБЛУЧЕНИЯ

*Н.А. Кошлань*¹, *М.Д. Исакова*¹, *Ю.В. Богданова*¹, *А.Г. Беляева*³,
И.В. Кошлань^{1,2}, *А.С. Штемберг*³, *Е.А. Красавин*^{1,2}

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

³Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

e-mail: nkoshlan@jinr.ru

Целью данного исследования является оценка цитогенетических нарушений, возникающих в лимфоцитах крови обезьян *Macaca mulatta*, после комбинированного воздействия моделируемого гравитационного и радиационного факторов межпланетных полетов. Актуальность данной работы обуславливается подготовкой к осуществлению межпланетных пилотируемых космических экспедиций.

Материалы и методы. Объектом исследования стали самцы обезьян *Macaca mulatta*. Животных облучали γ -лучами ¹³⁷Cs (ИМБП, Москва) в дозе 1 Гр в течение 25 часов в условиях гипокинезии (головой к источнику). Через 7 суток после первого воздействия голову обезьян облучали ионами ¹²C в дозе 1 Гр (ИФВЭ, Протвино).

Для проведения цитогенетического анализа осуществляли забор венозной крови у контрольных и облученных животных через 24 часа и 446 суток после последнего воздействия. Препараты лимфоцитов готовили по стандартной методике. Для каждого полученного образца просчитывали от 500 до 1000 клеток.

Результаты. В ходе цитогенетического анализа хромосомных нарушений в лимфоцитах крови обезьян *Macaca mulatta* контрольной группы выявлен низкий уровень хромосомных aberrаций. Количество клеток с хромосомными нарушениями не превышало 1,8 %. Основную доля хромосомных нарушений составляли aberrации хроматидного типа. Количество клеток с дицентриками и центрическими кольцами, встреченных при анализе контрольных образцов, не превышала 0,2 на 100 клеток. Проведенный цитогенетический анализ лимфоцитов периферической крови обезьян, подвергшихся воздействию ускоренных ионов ¹²C в дозе 1 Гр, позволил выяснить, что уровень aberrантных клеток через сутки после облучения вырос почти в восемь раз по сравнению с контролем. Спустя 446 суток после облучения головы обезьян ионами ¹²C количество клеток и общее число хромосомных нарушений снизилось, но все еще не достигло контрольных значений и превышало контрольный уровень в почти 4 раза.

В ходе исследования было отмечено, что через 24 ч после облучения головы обезьяны *Macaca mulatta* ионами углерода ¹²C в дозе 1 Гр преобладали aberrации хромосомного типа. Результаты анализа дицентриков и центрических колец показали, что через 1 сутки после облучения ¹²C (9-ые сутки после облучения ¹³⁷Cs) их суммарный уровень вырос в 20 раз по сравнению с контрольным уровнем, и они составляли порядка 30 % от общего числа всех возникающих хромосомных нарушений. Со временем количество клеток с дицентриками и кольцами снизилось за счет элиминации их из кровотока. Однако к 446 суткам исследования их количество все еще превышало показатели необлученного контроля в почти 7 раз, снизившись в 3 раза по сравнению с первым сроком исследования после комплексного облучения.

Выводы. Полученные данные свидетельствуют о максимальном выходе хромосомных нарушений через сутки после облучения головы обезьян *Macaca mulatta* ионами ¹²C. Спустя 446 суток хоть и наблюдается снижение количества клеток с хромосомными aberrациями, но тем не менее их уровень все еще превышает контрольные значения.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЕ И ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН САЛАТА, ОБЛУЧЕННЫХ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ УГЛЕРОДА, ПРИ ПРОРАЩИВАНИИ В ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ

Н.Г. Платова¹, В.М. Лебедев², А.В. Спасский², К.А. Труханов¹, К.О. Иноземцев¹, Р.В. Толочек¹

¹ Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва

² НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
nataliaspl@inbox.ru

При дальних и длительных космических полётах человек, элементы конструкции и биологические системы жизнеобеспечения будут подвергаться воздействию радиации в комбинации с другими факторами космического полёта. Одним из таких факторов является отсутствие привычного геомагнитного поля (ГМП). Комбинированное воздействие таких факторов изучено недостаточно.

Целью данного исследования является изучение комбинированного воздействия облучения ускоренными ионами углерода и гипوماгнитных условий проращивания на семена салата посевного *Lactuca sativa* L.

Материалы и методы. Семена салата сорта Московский парниковый облучали ускоренными ионами углерода ^{12}C на исследовательском ускорителе НИМАС Национального института радиологических наук (NIRS QST) в Чибо, Япония. Энергия ионов - 400 МэВ/нуклон, ЛПЭ в воде - 11 кэВ/мкм, мощность дозы - 2,7 мГр/с. Представлены результаты двух партий облучения семян, первая в дозе 1 Гр и вторая – в дозах 5 и 10 Гр. Облученные и необлученные семена проращивали в гипوماгнитной камере из магнитомягкого материала при величинах магнитной индукции около $2 \cdot 10^1$, $1,4 \cdot 10^2$ и $1 \cdot 10^3$ нТл, что соответствует ослаблению геомагнитного поля до $2,5 \cdot 10^3$ раз, $3,6 \cdot 10^2$ раз и в $5 \cdot 10^1$ раз. Использовали ана-телофазный анализ для учета хромосомных aberrаций в первом митозе корневой меристемы.

Результаты. Максимальная задержка прорастания на 22-26 % на первые сутки отмечена при ослаблении ГМП в $5 \cdot 10^1$ раз для семян, облученных в дозах 1 Гр и 5 Гр. Для семян, облученных в дозе 10 Гр, наибольшее подавление прорастания на первые сутки на 43 % отмечается при ослаблении ГМП в $2,5 \cdot 10^3$ раз. В корневой меристеме проростков происходит увеличение процента клеток с хромосомными aberrациями, процента хромосомных мостов и фрагментов при прорастании семян, облученных в дозе 1 Гр, при ослаблении ГМП в $3,6 \cdot 10^2$ раз и в $2,5 \cdot 10^3$ раз, а процента клеток с множественными aberrациями при ослаблении в $5 \cdot 10^1$ раз ($p \leq 0,05$) по сравнению с семенами, прораставшими в обычных условиях. В этих случаях отмечено синергическое усиление эффектов облучения ионами углерода и гипوماгнитных условий проращивания. Антагонистическое взаимодействие факторов при всех рассмотренных ослаблениях ГМП наблюдалось по критерию среднего количества делящихся клеток в стадии ана-телофазы.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что ответ облученных семян, пророщенных в гипوماгнитных условиях, меняется в зависимости от дозы облучения и степени ослабления магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований ГНЦ РФ – ИМБП РАН и при использовании оборудования, приобретенного НИИЯФ МГУ за счет программы развития Московского университета.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА В СТАДИЯХ G_0 И G_1 КЛЕТОЧНОГО ЦИКЛА ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОГО И НЕПРЕРЫВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РЕАКТОРЕ БАРС-6

В. И. Потетня, Е. В. Корякина

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,
Обнинск, Россия

ek-koryakina@mrrc.obninsk.ru

В исследованиях цитогенетического действия импульсного и пролонгированного излучения реактора БАРС-6 на лимфоциты крови человека в стадии G_0 был выявлен обратный эффект мощности дозы (МД). Он мог быть связан с сопутствующим γ -излучением и конформационными перестройками хроматина во время пролонгированного облучения. Ранее эффект МД был установлен при действии смешанного γ -нейтронного излучения ^{252}Cf и был наиболее выражен в стадии G_1 клеточного цикла. Учитывая близость спектров деления нейтронов реактора и ^{252}Cf и близкий вклад сопутствующего γ -излучения в суммарную поглощенную дозу (35–40%), были проведены исследования цитогенетического действия излучения реактора БАРС-6 на лимфоциты крови человека в стадии G_1 при двух режимах облучения – однократном импульсном и пролонгированном, и двух температурах – 0 и 20°C.

Цельную кровь по 3 мл помещали в пластиковые пробирки через 15 ч после стимуляции лимфоцитов к делению (стадия G_1 клеточного цикла) и облучали на импульсном реакторе БАРС-6 1 ч или 65 мкс. Исследованный диапазон доз нейтронов составил 0.3–2.5 Гр, мощностей доз – от $(0.8\text{--}4.5) \cdot 10^{-2}$ Гр/мин в непрерывном режиме облучения до $(0.5\text{--}2.7) \cdot 10^6$ Гр/мин в импульсном. Образцы с кровью во время облучения, а также до (транспортировка, проведение подготовительных работ) и после него, в общей сложности 5–6 ч, находились в пластиковых сосудах, заполненных тающим льдом (0°C) или водой (20°C). Постлучевое культивирование лимфоцитов (в течение 37 ч при 37°C), фиксацию клеток, приготовление и окрашивание препаратов проводили полумикрометодом. Цитогенетический эффект оценивали по выходу аберраций хромосом (АХ) в первом постлучевом митозе с использованием стандартного метафазного анализа. Учитывали все типы АХ, распознаваемые без кариотипирования. На каждую дозовую точку анализировали от 200 до 900 метафаз.

Результаты проведенных исследований показывают, что в предсинтетических стадиях клеточного цикла лимфоцитов (G_0 , G_1) наблюдаются качественно и количественно одинаковые закономерности индуцирования АХ в зависимости от МД смешанного γ -нейтронного излучения реактора БАРС-6: бóльший выход АХ при пролонгированном облучении, чем при однократном импульсном, независимость его от температуры во время облучения (0 и 20°C), разная величина эффекта МД для разных типов АХ (максимальная для межхромосомных асимметричных обменов – дицентриков). При этом при действии γ -нейтронного реакторного излучения как суммарная частота АХ, так и выход дицентриков снижаются при вступлении лимфоцитов в клеточный цикл (при переходе из стадии G_0 в стадию G_1), как и при действии нейтронов реактора БР-10 и ^{252}Cf (что было установлено в работах А. В. Севаньяева и соавт.) в отличие от действия γ -излучения и ускоренных ионов с ЛПЭ до 70 кэВ/мкм, где наблюдается обратная зависимость.

Таким образом, при действии смешанного γ -нейтронного излучения с заметным вкладом γ -излучения в суммарную поглощенную дозу (35–40%) эффект МД (и обратный – БАРС-6, и прямой – ^{252}Cf) наиболее выражено проявляется в лимфоцитах человека на/в стадии G_1 .

СРАВНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК МЫШИ К НИЗКИМ ДОЗАМ γ - И ПРОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Ю.П. Сёмочкина, О.Д. Смирнова, А.В. Родина, С.Т. Латушкин, В.Е. Лукьяшин,
Е.Ю. Москалёва*

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Semochkina_YP@nrcki.ru

Мезенхимальные стромальные стволовые клетки (МСК) – долгоживущие клетки, которые присутствуют практически во всех органах и тканях и способны репопулировать и дифференцироваться в другие типы клеток, участвуя в процессах роста и регенерации. Эти клетки у людей могут подвергаться воздействию ионизирующего излучения разных типов в процессе профессиональной деятельности на объектах атомной энергетики, в космической отрасли, а также у пациентов при лучевой терапии.

Целью данной работы является сравнительный анализ чувствительности МСК к действию γ - и низко энергетичного протонного излучения в диапазоне низких доз.

Материалы и методы. МСК из костного мозга мышей линии C57BL/6 (МСК-КМ) культивировали в среде DMEM/F12 с добавлением 10% фетальной сыворотки в стандартных условиях до 30 пассажа и подвергали действию γ -излучения (^{60}Co) на установке «ГУТ-200М» и протонов с энергией 32 МэВ в пучке изохронного циклотрона У-150. Образцы облучали в виде суспензии клеток в цилиндрических пробирках диаметром 5 мм при комнатной температуре. Глубинное распределение поглощенной дозы для протонов рассчитывали с использованием программы "SRIM-2013-Pro". При облучении клеток протонами дозиметрию проводили с использованием радиохромной пленки ЕВТ-3. Диапазон доз при облучении протонами составлял 0,1 – 0,6 Гр, при γ -облучении – 0,1 – 1 Гр. Контрольные и облученные клетки культивировали в стандартных условиях на протяжении 14 суток и подсчитывали количество клеток в культуре в камере Горяева. Для исследования клоногенной активности сразу после облучения клетки высаживали в шести-луночные платы в количестве 100 клеток/лунку для контрольных МСК-КМ, и клеток, подвергавшихся воздействию γ -излучения. При облучении протонами количество клеток увеличивали до 200 клеток/лунку для доз 0,3 и 0,4 Гр и до 400 клеток/лунку для дозы 0,6 Гр.

Результаты. Облучение протонами приводило к более глубокому снижению клоногенной активности МСК-КМ при всех исследованных дозах: так, число колоний для дозы 0,6 Гр составляло 29% по сравнению с контролем против 82% при γ -облучении в той же дозе. Выживаемость клеток после облучения протонами также была ниже при всех дозах по сравнению с γ -облучением: при дозе 0,6 Гр выживаемость клеток, облученных протонами, составляла 50% от контроля, в то время как после γ -облучения в той же дозе выживаемость составляла 85%.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о высокой относительной биологической эффективности протонного излучения с энергией 32 МэВ в области низких доз для МСК-КМ мыши.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №1363 от 25.06.2019 г.)

**ВЛИЯНИЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ПУЧКА ИОНОВ УГЛЕРОДА
УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА У-70 НА ПОВЕДЕНИЕ МЫШЕЙ В
РАННИЕ И ПОЗДНИЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ**

С.С. Сорокина¹, С.И. Заичкина¹, О.М. Розанова¹, Е.Н. Смирнова¹, А.Е. Мальков¹,
В.А. Пикалов²

¹ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, РФ

² Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального
исследовательского центра «Курчатовский институт», Протвино, РФ
sv0723@yandex.ru

В настоящее время перед научным сообществом стоит ряд важных практических задач, решение которых требует детального изучения механизмов биологического действия плотноионизирующих излучений на поведение человека. Одна из них связана с активным применением ускоренных ионов для лечения онкологических заболеваний, поскольку возникла проблема оценки влияния курсов радиотерапии на когнитивные функции больного, что часто сопровождается ухудшением качества жизни. Вторая задача связана с запланированными полётами на Луну и Марс, поскольку экипажи будут подвергаться длительному воздействию галактического излучения, в спектре которого преобладают протоны и ионы высоких энергий – углерода и железа. В последние годы показан потенциал ионизирующих излучений в индукции значительных когнитивных эффектов, при этом клеточные и молекулярные мишени этих процессов остаются неизвестными. Предполагается, что плотноионизирующее излучение может влиять на функциональные свойства нейронов и тем самым приводить к дисбалансу в нейронной сетевой активности. На сегодняшний день недостаточно фундаментальных исследований биологического действия малых и средних доз ускоренных ионов углерода с различными физическими характеристиками *in vitro*, а работы на животных *in vivo* проводятся в единичных научных центрах.

Целью нашей работы являлось исследование влияния ускоренных ионов углерода на поведение лабораторных мышей в ранние и поздние сроки после облучения.

2х-месячных самцов мышей колонии SHK облучали однородным пучком ионов углерода с энергией 450 МэВ/нуклон в модифицированном пике Брэгга в дозе 0.7 Гр (НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, Протвино). Через 2 сут и через 2 мес после облучения оценивали общую активность, пространственное обучение, долговременную и кратковременную гиппокамп-зависимую память мышей с помощью набора методик: «открытое поле», лабиринт Барнс и распознавание нового объекта.

В результате проведённых экспериментов обнаружено, что мыши, облучённые терапевтическим пучком ионов углерода в дозе 0.7 Гр в пике Брэгга, проявляют разную изменённую модель поведения в зависимости от сроков тестирования после облучения. Негативные эффекты влияния облучения на гиппокамп наиболее выражены на более позднем сроке после облучения, что подтверждается также данными гистологического исследования мозга облучённых животных. Полученные результаты свидетельствуют о наличии как ранних, так и отсроченных повреждений гиппокампа после облучения, при этом последние могут быть необратимыми, с прогрессирующим патогенезом, что требует дальнейших исследований.

КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ ОБЕЗЬЯН ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ МОЗГА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРОТОНАМИ

Л.В. Терещенко, Я.И. Кривенков, А.В. Латанов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва
liter@mail.ru

Галактические космические лучи (ГКЛ) являются важным и фактически непреодолимым фактором негативного воздействия на организм человека в дальних космических полетах. При долговременном воздействии ГКЛ неизбежно возрастает риск ранних поражений перцептивных, интегративных и исполнительных систем мозга. ГКЛ могут вызывать нарушения поведения, когнитивной сферы в целом и, как следствие, операторской деятельности у космонавтов. Значительный интерес представляет изучение воздействия высокоэнергетических протонов, которые составляют 92% ГКЛ. Оперантное поведение у приматов, включающее, в том числе двигательную активность, когнитивные функции, механизмы принятия решений, является упрощённой моделью сложной интегративной деятельности человека, востребованной в условиях космического полёта.

Целью исследования является изучение оперантной деятельности и восприятия пространственных отношений в периперсональном пространстве обезьян после облучения мозга высокоэнергетическими протонами.

Материалы и методы. Двух обезьян Д и П (*Macaca mulatta*) предварительно обучили работе в оперантной задаче: обезьяна доставала пищевое подкрепление из прозрачного полого куба сквозь отверстие в одной из его стенок. Положение отверстия меняли после каждого решения задачи. Исследовали работу животных в задаче до и в течение трёх месяцев после краниального облучения протонами высоких энергий (170 МэВ, 3 Гр, экспозиция 5 мин.).

Результаты. По завершении обучения обе обезьяны успешно решали оперантную задачу, как до, так и после облучения на протяжении всего срока эксперимента. В то же время обезьяны использовали разные стратегии для решения задачи. Обезьяна Д во время решения задачи большую часть времени сидела перед кубом и решала задачу быстрыми последовательными движениями. Среднее время решения задачи составляло – $4,1 \pm 1,2$ с, доля безошибочного решения задачи (первой попыткой) – 50 ± 2 % и среднее количество ошибочных действий при каждом решении задачи – $2,1 \pm 0,3$. Обезьяна П обходила, оглядывая куб со всех сторон, и брала подкрепление после видимого визуального нахождения стенки с отверстием. В результате среднее время решения задачи у неё составляло – 31 ± 6 с, доля безошибочного решения задачи – $98,1 \pm 0,4$ % и среднее количество ошибочных действий при решении задачи – $0,03 \pm 0,01$. Выбор активной руки обезьянами сохраняется для каждого положения отверстия при решении пространственной задачи и также показывает высокую стабильность как до, так и после облучения. У обезьяны П наблюдались отдельные редкие эпизоды, когда без видимых причин обезьяна переставала решать задачу и возвращалась к решению задачи спустя 20-60 с отсутствия активности. Малое количество таких эпизодов не позволяет установить достоверную взаимосвязь такого поведения с облучением.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать вывод о сохранении успешного и устойчивого оперантного поведения при решении пространственной задачи, отсутствии нарушений когнитивной функции представления пространственных отношений в течение трёх месяцев после воздействия на мозг обезьяны протонным излучением указанных характеристик.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 17-29-01027_офи_м).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОТОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОБЕЗЬЯН

*Л.В. Терещенко¹, И.Д. Шамсиев^{1,2}, Л.Н. Васильева², И.В. Бондарь², А.В. Латанов¹,
Е.А. Красавин³*

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

²Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

³Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
liter@mail.ru

В условиях дальних космических полетов радиационные воздействия галактических космических лучей (ГКЛ) на организм человека неизбежно вызывают риск ранних поражений перцептивных, интегративных и исполнительных систем мозга. В составе ГКЛ высокоэнергетические протоны составляют 92%. ГКЛ могут вызывать нарушения поведения, когнитивной сферы в целом и, как следствие, операторской деятельности у космонавтов. В обеспечении операторской деятельности важная роль принадлежит зрительной системе, а также функционально связанным с ней глазодвигательной и экстрапирамидной системам. Они достигли наибольшего развития у приматов, включая человека. Поэтому исследования радиационных нарушений зрительно-моторного поведения необходимо проводить на обезьянах.

Целью исследования является изучение зрительномоторной и манипулятивной деятельности обезьян после облучения мозга высокоэнергетическими протонами.

Материалы и методы. Двух обезьян Д и П (*Macaca mulatta*) предварительно обучили глазодвигательной задаче, включающей выполнение зрительно вызванных саккад к стимулам, предъявляемым в широком участке поля зрения обезьян, и мануальных инструментальных реакций. Исследовали эффективность работы животных в задаче до и в течение трёх месяцев после краниального облучения протонами высоких энергий (170 МэВ, 3 Гр, экспозиция 5 мин.).

Результаты. В течение трёх месяцев после облучения доля корректных мануальных реакций варьировала в относительно узком диапазоне - 80-86% (обезьяна Д) и 88-96% (П). У обезьяны Д на 60-72 дни после облучения наблюдалось первое увеличение латентных периодов (ЛП) саккад на 10-13% в пике на 67-й день с последующим возвратом к контрольным значениям и второе увеличение ЛП саккад на 81-87-й дни на 5-10% в пике на 84-й день. У обезьяны П при смене зрительных стимулов с временной задержкой на протяжении трёх месяцев после облучения наблюдалось увеличение ЛП саккад на 5,0-7,5% от контрольных значений. В остальных схемах смены стимулов не наблюдалось отклонений от контрольных значений кроме разовых в отдельные дни эксперимента. ЛП мануальных инструментальных реакций у обезьяны Д увеличивались и высоко коррелировали с ЛП саккад. У обезьяны П в течение первого месяца после облучения наблюдалось увеличение ЛП мануальных движений на 20-27% в сравнении с контролем.

Выводы. Полученные результаты указывают на возможное кратковременное снижение эффективности интегративных и исполнительных механизмов, обеспечивающих глазодвигательные реакции и инструментальную деятельность. Устойчивое увеличение после облучения ЛП саккад в схеме смены стимулов с минимальным временем переключения зрительного внимания с одного стимула на другой свидетельствует о негативном долговременном влиянии облучения протонами на эффективность процессов переключения внимания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 17-29-01027 офи_м).

НОВЫЙ ТИП СИМУЛЯТОРА РАДИАЦИОННОГО ПОЛЯ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ

Тимошенко Г.Н., Гордеев И.С.

Лаборатория радиационной биологии Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия

Традиционно радиобиологические эксперименты, связанные с облучением биологических образцов на ускорителях заряженных частиц, проводятся на пучках моночастиц с фиксированным значением их энергии. В то же время, облучение космонавтов в глубоком космосе происходит в смешанном многокомпонентном поле рассеянного излучения с очень широким энергетическим спектром, которое инициируется Галактическими космическими лучами (ГКЛ), падающими на оболочку корабля. По этой причине в последние годы резко обострился интерес к симуляции в земных условиях радиационных условий сходных с космическими при проведении радиобиологических облучений. Из-за большой роли тяжелых ионов ГКЛ в индукции повреждений центральной нервной системы такие эксперименты возможны лишь на ускорителях релятивистских тяжелых ионов (Brookhaven, GSI, Нуклотрон ОИЯИ). В докладе представлен вариант создания симулятора радиационного поля внутри жилого модуля космического корабля с оболочкой 15 г/см^2 Al на специализированном канале для радиобиологических исследований, создаваемом в настоящее время на Нуклотроне ОИЯИ в рамках инновационной программы комплекса NICA. Поле внутри модуля было рассчитано с большой степенью детализации по программе FLUKA для минимума и максимума солнечной активности. Симулятор диаметром 10 см, состоящий из вращающихся конверторов, заполненных секторальными полиэтиленовыми мишенями, облучается равномерным пучком ядер ^{56}Fe с энергией 1 ГэВ/н. В докладе представлено сравнение зарядовых распределений частиц поля внутри модуля и поля за симулятором, спектров всех компонентов поля за симулятором, включая тяжелые ионы с Z до 27, а также спектров ЛПЭ внутреннего поля и поля за симулятором. Приведены основные характеристики симулятора при номинальном значении интенсивности пучка ядер железа.

КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

И.Б. Ушаков

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

iushakov@fmbcfmba.ru

Целью являлся анализ современного состояния и перспективных направлений космической радиобиологии и уточнение актуальной структуры этого направления радиобиологии. В качестве новых паттернов **материалов** использовались данные хронического эксперимента на 700 половозрелых крысах-самцах (дозы облучения 10-100 сГр), клинико-физиологические данные облученных летчиков-ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (более 1000 человек) и многочисленные радиационные нейробиологические эксперименты, в том числе с тяжелыми заряженными частицами (ТЗЧ). **Методы** представлены в 3 монографиях и 15 журнальных статьях.

Результаты. В преддверии 60-летия орбитальных полетов человека пора уже серьезно подумать о дальнейшем проникновении человека в космос. Главный барьер – радиация различных источников: галактические и солнечные космические лучи. Сложные радиационные «коктейли» в космосе опасны с учетом вторичных нейтронов и гамма-излучения. Смоделировать всё на Земле чрезвычайно сложно.

В структуре современной космической радиобиологии представлены: радиационная ситуация в ближнем и дальнем космосе; особенности дозиметрии в космосе и возможности использования различных фантомов; многоуровневые последствия облучения человека в космосе; малые дозы и мозг; роль комбинированных воздействий; разработка новых подходов по экстраполяции экспериментальных данных, полученных на животных, к человеку; нормирование радиационных воздействий в космосе с учетом многочисленных нерадиационных рисков в полете; разработка средств повышения радиорезистентности и медико-биологической защиты.

Остро необходима всеобъемлющая концепция радиационной безопасности человека в заорбитальных полетах. В ней необходимо учесть все вероятные ближайшие и отдаленные последствия облучения человека в космосе. Необходимо верифицировать возможные мозговые нарушения от ТЗЧ с учетом комбинированного действия других факторов полета, включая и гипомагнитную среду, учесть риск неизбежных радиационных угроз, в частности на Луне или Марсе. Во втором случае необходимо знание минимальных и максимальных доз на всех участках полета космического корабля: околоземный полет, межпланетное путешествие, орбита Марса и пребывание на Марсе с опасным вторичным излучением нейтронов от грунта.

Современная наука не умеет пока хорошо предсказывать солнечные протонные события, ограничены наши знания о спектрах космических излучений и способах расчета доз при прохождении различных видов радиации через вещество. Новую концепцию можно назвать «концепцией выбора меньшей суммы зла». Принцип ALARA не отменяется, но ставится на грань возможного соблюдения. В бортовой аптечке необходимо иметь средства, которые будут являться некой современной к моменту полета «суммой радиобиологии», использующей весь арсенал средств противодействия – радиопротекторы, радиомитигаторы, радиомодуляторы, гибернация, гипостазис, искусственное магнитное поле и т.д. Экипаж должен быть подобран из наиболее радиоустойчивых космонавтов (по гено- и фенотипическим критериям).

Выводы. Современная космическая радиобиология находится на переломном этапе выработки новых путей развития и получения прорывных результатов.

**ИНДУКЦИЯ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК В НОРМАЛЬНЫХ И
ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТКАХ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ
АРАБИНОЗИДЦИТОЗИНА ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ
РАЗНОГО КАЧЕСТВА**

*В.Н. Чаусов¹, А.В. Борейко^{1,2}, Е.В. Ильина¹, Р.А. Кожина^{1,2}, Е.А. Красавин^{1,2},
Е.А. Кузьмина¹, С.И. Тиунчик¹*

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

chausov@jinr.ru

Поиск подходов, направленных на изменение чувствительности клеток к действию ионизирующих излучений, является одной из приоритетных задач радиобиологии. Перспективными представляются исследования модифицирующего действия агентов, влияющих на процессы репарации повреждений ДНК. В этой связи представляют интерес агенты, оказывающие влияние на выход двунитевых разрывов (ДР) ДНК. Ранее нами было показано, что в условиях влияния ингибиторов репарации ДНК – арабинозидцитозина (АраЦ) и гидроксимочевина (ГМ) увеличивается выход ДР ДНК при γ -облучении клеток различного типа. В основе механизма этого процесса лежит трансформация длительно нерепарируемых одонитевых разрывов ДНК в энзиматические ДР. При этом величина модифицирующего влияния этих агентов зависит от качества излучения.

С использованием метода ДНК комет изучены закономерности формирования ДР ДНК в культуре нормальных фибробластов человека и глиобластомы U87 при действии излучений с разной линейной передачей энергии (ЛПЭ): протонов в пике Брэгга и ускоренных ионов азота ^{15}N (ЛПЭ = 85 кэВ/мкм), а также при действии γ -квантов и протонов в пике Брэгга в клетках гиппокампа крыс при облучении *in vivo* в условиях влияния АраЦ и ГМ. Установлено, что для всех использованных видов излучений наблюдается линейный характер выхода повреждений ДНК. С увеличением ЛПЭ излучения отмечено возрастание эффективности индукции ДР ДНК. Показано, что количество формируемых при облучении всеми типами использованных излучений ДР ДНК в условиях влияния АраЦ значительно возрастает. Увеличение выхода ДР наблюдается при дополнительном к АраЦ использовании ГМ. При облучении ускоренными ионами азота модифицирующее влияние ингибиторов репарации снижается, как для фибробластов, так и для клеток глиобластомы U87.

Изучена кинетика репарации ДР ДНК в условиях влияния радиомодификаторов. В экспериментах *in vitro* показано, что в нормальных условиях репарация повреждений реализуется по экспоненциальной кинетике и к 6 ч пострadiaционной инкубации практически заканчивается. В условиях влияния ингибиторов кинетика репарации зависит от типа излучения. Так, при облучении протонами наблюдается не снижение количества индуцируемых ДР ДНК, а, наоборот, их значительное возрастание вплоть до 6 ч пострadiaционной инкубации, и к 24 ч происходит некоторое снижение количества повреждений. После облучения ускоренными ионами азота, количество ДР ДНК незначительно снижается, но при этом уровень неотрепарированных повреждений даже к 24 ч остается в 3-4 раза более высоким по сравнению с нормальными условиями. В экспериментах *in vivo* показано, что кинетика репарации ДР ДНК в клетках гиппокампа крыс как при действии γ -квантов ^{60}Co , так и протонов в пике Брэгга имеет сложный характер. До 4 часов пострadiaционного периода наблюдается увеличение выхода повреждений ДНК до максимальных значений, после чего наблюдается их снижение. Однако, в условиях влияния АраЦ наблюдается увеличение общего количества повреждений в течение всего наблюдаемого в эксперименте пострadiaционного периода.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕКРЕЦИИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЦИТОКИНОВ В
КУЛЬТУРЕ ИММОТАЛИЗОВАННЫХ МИКРОГЛИАЛЬНЫХ КЛЕТОК
МЫШИ SIM-A9 ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С
РАЗНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

О.О. Черняк, О.В. Комова, В.С. Гаврилова, Д.А. Комаров
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
frau_helga@mail.ru

В качестве одной из причин когнитивных расстройств при действии ионизирующих излучений рассматривается активация микроглии, которая инициирует воспалительную реакцию, вызванную секрецией данными клетками целого ряда воспалительных цитокинов, хемокинов и активных форм кислорода, что приводит к окислительному стрессу, нарушению нейрогенного сигналинга и ингибирует нейрогенез. Известно, что плотноионизирующие излучения вызывают более серьезные нарушения ментальных и моторных функций у лабораторных животных, причем, при существенно более низких дозах. В связи с этим, несомненный интерес представляет сопоставление эффективности излучений разного качества в активации микроглиальных клеток.

Цель исследования: Измерить концентрацию воспалительных цитокинов IL-1 β , IL-6 и MCP-1 в супернатантах спонтанно-иммортизированных микроглиальных клеток мозга мыши SIM-A9 при действии ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками.

Материалы и методы: Культуру клеток облучали в среде DMEM-F12 с добавлением 10% FBS и 5% HS γ -квантами ^{137}Cs , протонами в расширенном пике брэгга и ускоренными ионами азота ^{15}N (ЛПЭ~180 кэВ/мкм, E~13 МэВ/нуклон) в диапазоне доз 1-10 Гр. В различное время после облучения отбирали супернатанты и измеряли уровень цитокинов методом ELISA с использованием наборов антител Abscam согласно протоколу производителя. Измерения проводились на микропланшетном ридере Sinergy.

Результаты: Радиационное воздействие стимулирует продукцию IL-6 и MCP-1, но не IL-1 β . Уровень цитокинов увеличивается с ростом дозы и достигает максимальных значений при дозе 10 Гр. Статистически значимое различие в концентрации MCP-1 по сравнению с необлученными клетками наблюдалось при дозах ≥ 5 Гр, ≥ 7 Гр и 10 Гр для γ -квантов, протонов и ионов азота, соответственно. При этом существенных различий в максимальной концентрации цитокинов для этих типов излучений не наблюдалось, и он находился в пределах 9000-15000 пкг/мл. Для γ -квантов и протонов эти максимальные значения концентрации MCP-1 достигались через 48 часов после облучения. Тяжелые заряженные частицы демонстрировали два пика продукции данного цитокина: ранний - через 12 и поздний - через 48 часов.

Иная картина наблюдалась для IL-6 при облучении протонами и ^{15}N . В отличие от MCP-1, при максимальной дозе 10 Гр концентрация IL-6 при действии тяжелых ионов была в 5 раз выше, чем при действии протонов (1500 пкг/мл и 300 пкг/мл, соответственно). Характерно, что тяжелые заряженные частицы также демонстрировали две волны секреции.

Выводы: Физические характеристики излучения не влияют на количественные показатели уровня MCP-1. Тяжелые заряженные частицы ^{15}N , оказались в 5 раз эффективнее протонов в продукции IL-6, при этом максимальный уровень достигался в более раннее время.

ОБОБЩЕННЫЕ ДОЗЫ И СУММАРНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ РИСК ПРИ ПОЛЕТЕ НА МАРС ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАДИАЦИОННОГО НОРМИРОВАНИЯ

А.В. Шафиркин, В.Г. Митрикас, В.А. Шуришаков

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

a.v.shafirkin@mail.ru

В работе представлено обоснование нового дозиметрического функционала – обобщенной дозы для приведения сложного характера радиационного воздействия (РВ) космических излучений при космических полетах к стандартным условиям острых кратковременных, равномерных облучений на Земле от источников гамма-излучений ^{60}Co , ^{137}Cs , а также жесткого рентгеновского излучения с напряжением на трубке 180-250 кВ. Для стандартных условий РВ на Земле имеется очень большое число радиобиологических материалов облучения с различной мощностью дозы и характером распределения дозы во времени, для случаев пространственной неравномерности РВ, в сочетании с воздействиями других нерадиационных факторов, присущих космическому полету. При этом на различных млекопитающих уже изучены основные эффекты на клеточном, тканевом, органном и организменном уровнях в ближайшем пострadiационном периоде. Исследованы также отдаленные неблагоприятные последствия. Эти материалы составляют основу для расчетов радиационного риска (РР) в процессе полета, а также суммарного РР в течение всей жизни космонавтов.

Для первого варианта полета к Марсу космический корабль (КК) рассматривали простой шаровой формы, а для быстрого пролета через радиационные пояса Земли (РПЗ) в качестве двигательных установок использовали жидкостной реактивный двигатель (ЖРД) и ядерно-энергетическую двигательную установку (ЯЭРДУ). Рассмотрены дозовые характеристики галактических космических лучей (ГКЛ), а также солнечных космических лучей (СКЛ) за различными толщинами защиты космического корабля и радиационного убежища (РУ) из алюминия. Дозы от РПЗ при этом не учитывали. Во втором случае рассмотрен один из реальных предполагаемых довольно сложных по конструкции КК. В качестве двигателя в этом проекте предполагалось использовать вместо ЯЭРДУ электрореактивные двигатели малой тяги относительно легкие, дешевые и надежные. При этом учитывали также дозовые нагрузки от протонов и электронов РПЗ при раскрутке с разной скоростью.

На основе модели радиационной скорости смертности млекопитающих, основанной на достаточно большом экспериментальном материале радиобиологических исследований на мелких и крупных лабораторных животных, был разработан алгоритм для расчетов суммарного РР в течение жизни космонавтов. Для указанных выше вариантов полетов за различными толщинами защиты из алюминия рассчитаны величины суммарного РР в течение жизни космонавтов после полетов к Марсу продолжительностью от 2 до 3 лет. Эти величины сопоставляются с канцерогенными рисками (КР) для космонавтов разного возраста. На основе алгоритма, полученного из экспериментальных данных, показано, что суммарный РР в течение жизни составляет 13% на 1 Зв. Продемонстрировано, что с точностью до 2% эта величина совпала с оценками РР на 1 Зв большинства авторов 30 - 50-летних эпидемиологических исследований отдаленных последствий у жителей Хиросимы и Нагасаки, работников П/О «Маяк», ликвидаторов аварии на ЧАЭС, работавших в 1987-1988 гг., жителей загрязненных территорий при учете кроме риска канцерогенеза также рисков кардиоваскулярных болезней, повышенных рисков инфарктов, инсультов, недостаточности мозгового кровообращения и др.

ОПЫТ РАДИАЦИОННЫХ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КОМПЛЕКСЕ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ «ПРОМЕТЕУС»

*Шемяков А.Е.^{1,2}, Заичкина С.И.¹, Розанова О.М.¹, Смирнова Е.Н.¹, Сорокина С.С.¹,
Дюкина А.Р.¹, Балакин В.Е.², Белякова Т.А.²*

¹Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия

²Физико-технический центр ФИАН им. П.Н. Лебедева РАН, Протвино, Россия
alshemyakov@yandex.ru

В настоящее время протонная терапия (ПТ) используется для лечения многих видов онкологических заболеваний. Она особенно подходит в тех случаях, когда способы лечения ограничены, а традиционная лучевая терапия представляет большой риск для пациента. ПТ применяется для лечения опухолей головного мозга, детской онкологии, рака предстательной железы, опухолей глаза и глазной впадины, а также при проведении повторных курсов лучевой терапии. В России на данный момент функционируют три центра ПТ: ЛДЦ МИБС (г. Санкт-Петербург), ФВЦМР ФМБА России (г. Димитровград) и МРНЦ им. А.Ф. Цыба (г. Обнинск). Эти центры входят в состав медицинских учреждений, что ограничивает использование данных установок для исследовательских целей. Разработанный в ФТЦ ФИАН РАН (г. Протвино) комплекс для ПТ «Прометеус» является полностью отечественной разработкой и проектировался как надежное устройство, доступное для любой городской больницы. Данное оборудование для ПТ уже четвертый год в ежедневной практике используют врачи МРНЦ им. А.Ф. Цыба. Аналогичный комплекс в ФТЦ ФИАН РАН продолжает совершенствоваться и эксплуатируется в рамках научно-исследовательского предприятия, что позволяет проводить физические и биологические эксперименты.

Целью данной работы является обобщение результатов радиационных и радиобиологических исследований на комплексе «Прометеус». Данный комплекс состоит из компактного синхротрона диаметром 5 м и массой 15 т, встроенной рентгеновской трубки и детектора, кресла для иммобилизации пациента, комплекта программного обеспечения. Установка способна ускорять протоны в диапазоне энергий 30-330 МэВ. Облучение мишеней осуществляется в импульсном режиме методом сканирования тонким пучком протонов заданного объема. Данные по эксперименту: расположение объекта, проекции, трехмерная модель, планы облучения и т.д. вносятся в базу данных, параллельную базе данных пациентов. Появление такого оборудования создало предпосылки для создания исследовательского модуля, на котором проводятся эксперименты на лабораторных животных в условиях тотального и локального облучения. Проведен комплекс радиационных и радиобиологических исследований с использованием различных методик в зависимости от способов доставки пучков, дозы и объемов облучения. Отработаны методики регистрации координаты и интенсивности пучка при облучении заданной мишени. Эксперименты на модельных объектах внесли существенный вклад при освоении и отладке оборудования, апробирования разных вариантов позиционирования, контроля корректной доставки дозы, решения проблем дозиметрии. Получены уникальные результаты по определению ОБЭ протонов при облучении животных низкими и высокими дозами с использованием батареи современных чувствительных тестов, отработаны схемы гипофракционированного лечения солидной карциномы Эрлиха у мышей, исследованы проблемы рецидивирования опухолей после радиотерапии.

Полученные данные открывают новые возможности для совершенствования методик ПТ и использования их при оценке радиационной нагрузки во время длительных космических полетов.

СЕКЦИЯ № 9
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ

ВЛИЯНИЕ МУТАНТНЫХ ФОРМ СИНАПТИЧЕСКИХ NMDA-РЕЦЕПТОРОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГИППОКАМПА

С.В. Аксенова, А.С. Батова, А.Н. Бугай, Э.Б. Душанов
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
anna-sergeevna00@yandex.ru

Действие тяжелых заряженных частиц на структуры центральной нервной системы влечет развитие целого ряда нарушений, начиная от внутриклеточных и структурных изменений и заканчивая развитием когнитивных и поведенческих патологий. Обнаружено, что снижение когнитивных функций у животных, облученных тяжелыми ионами железа, вызвано не только гибелью нейронов, но и нарушением механизмов синаптической передачи, и прежде всего в гиппокампе. В связи с этим разработка математических моделей, позволяющих проследить связь различных радиационно-индуцированных эффектов на молекулярном и клеточном уровнях с нарушением когнитивных функций, представляется важным инструментом для объяснения и предсказания радиобиологических эффектов.

Целью данного исследования является разработка методов анализа влияния радиационно-индуцированных мутаций на функционирование головного мозга.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выбраны ионотропные дигетеромерные (GluN1/GluN2A, GluN1/GluN2B) и тригетеромерный (GluN1/GluN2A/GluN2B), рецепторы глутамата NMDA, которые играют ключевую роль в регуляции синаптической пластичности, обучении, формировании различных видов памяти. Моделирование процесса активации полноатомной структуры NMDA-рецепторов осуществлялось на базе пакета NAMD. Построение модели нейросети гиппокампа для области CA3 с использованием полученных данных анализа структуры синаптического рецептора и последующее исследование влияния мутаций, кодирующих белковые субъединицы NMDA-рецептора, на генерацию тета-и гамма-ритмов нейронной сетью производилось в среде NEURON.

Результаты. В работе рассмотрен механизм нарушения когнитивных функций, связанный с возникновением и накоплением мутаций в генах, кодирующих белки синаптических рецепторов, после облучения. Можно полагать, что радиационные изменения в генетических структурах нервных клеток могут привести к синтезу мутантных форм белков и измененной функции рецептора и в конечном итоге явиться причиной нарушения интегративной целостности и ухудшения работы мозга. Были рассмотрены критические типы точковых и структурных мутаций в гене *GRIN2*, которые вызвали изменение ионной проводимости канала рецептора. Все исследованные виды мутаций привели к подавлению гамма-осцилляций. Точковые мутации вызвали либо небольшое повышение частоты тэта-ритма (p.Arg540His), либо изменение спектра колебаний (p.Asn615Leu, p.Val618Gly). В случае делеций, напротив, было выявлено падение спектральной мощности тэта-ритма примерно в два раза (p.Phe671_Gln672del).

Выводы. Предложенный подход позволяет количественно учесть нейрорадиобиологические эффекты излучений различного качества. Полученные результаты свидетельствуют, что именно сложные повреждения генетического аппарата, образующиеся при действии тяжелых заряженных частиц, в наибольшей степени будут затрагивать состояние синаптических рецепторов и влиять на функционирование нейронных сетей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-29-01007).

СООТНОШЕНИЕ ДОЗА–ЭФФЕКТ – ВРЕМЯ ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ

*С.Г.Андреев^{1,2}, В.С.Пятенко^{1,3}, Ю.А.Эйдельман¹, А.К.Грехова^{1,4}, А.Н.Осипов^{4,5},
И.К.Хвостунов³, С.В.Сланина¹*

¹Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

³МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск, Россия

⁴Государственный научный центр Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

⁵Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия
andreev_sg@mail.ru

Различные клеточные линии демонстрируют сильные вариации формы динамических кривых и зависимости доза-эффект для радиационно-индуцированной нестабильности хромосом (РИНХ) в случае гамма-облучения. К настоящему времени в литературе не существует единого объяснения совокупности данных.

Чтобы выяснить природу различий, мы выполнили эксперименты на линии СНО-К1 китайского хомячка по индукции дицентриков в потомках облученных клеток и проанализировали данные литературы для клеток китайского хомячка V79 и человеческих лимфоидных клеток ТК6 на основе разработанной механистической теории РИНХ. Впервые показано, что все наблюдаемые закономерности количественно описываются на основе единого механизма с параметрами, специфичными к типам клеток. Мы приходим к выводу, что различия формы динамических кривых и доза-эффект соотношений для РИНХ, как типа плато, так и с возрастающей дозовой зависимостью, могут быть согласованно объяснены разработанной моделью РИНХ. Согласие теории с экспериментом достигается за счет введения предположения о а) спонтанной генерации двойных разрывов ДНК в S-фазе потомков облученных клеток, б) независимости скорости их генерации от дозы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ГИБЕЛИ КЛЕТОК ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

М. Батмунх¹, А.Н. Бугай¹, Л. Баярчимэг¹, О.Лхагва²

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Национальный университет Монголии, Улан-Батор, Монголия
batmunkh@jinr.ru

Изучение молекулярных и клеточных механизмов действия радиации на ткани головного мозга при действии ускоренных заряженных частиц чрезвычайно важно для медицины и космической радиобиологии. В ходе решения рассматриваемых проблем требуется провести вычислительные эксперименты по расчету энерговыделения в треках заряженных частиц, попадающих в популяции клеток, а также проанализировать формирование кластерных повреждений ДНК.

Целью данного исследования является разработка вычислительных методов, позволяющих смоделировать радиационно-индуцированную гибель клеток центральной нервной системы (ЦНС) в результате накопления трудно-репарируемых повреждений ДНК.

Материалы и методы. Теоретические исследования выполнены с помощью моделирования методом Монте-Карло в пакете GEANT4 для получения распределения событий энерговыделения, поглощённой дозы и продуктов радиолиза воды в чувствительных структурах нервных клетках при действии заряженными частицами с различными физическими характеристиками. Также с использованием различных моделей клеток разработана полная модель гиппокампа крыс (нейрональные стволовые клетки и глиальные клетки, клетки-предшественники, незрелые и зрелые гранулярные клетки, пирамидальные нейроны) при облучении.

Результаты. Рассмотрено действие спектра космических частиц (от протонов до ионов железа) с различными энергиями (от 10 до 1000 МэВ/нуклон) и флюенсами (от 0.01 до 200 частиц/см²·день·МэВ/нуклон) на выход повреждений ДНК различной природы в клетках гиппокампа. Также проведена более детальная оценка выхода двунитевых разрывов ДНК в клетках после прохождения 170 МэВ протонов при проведении лучевой терапии и радиобиологических экспериментов. На основе полученных данных о повреждениях сформулированы модели радиационно-индуцированной гибели клеток ЦНС и проведена их валидация на основе известных экспериментальных данных.

Выводы. В результате выявлены закономерности индукции ключевых типов радиационных повреждений в молекулярных структурах ДНК при значениях ЛПЭ в пределах 0.2 – 4000 кэВ/мкм и гибели радиочувствительных клеток гиппокампа в области доз 0.1 – 3 Гр после облучения разными заряженными частицами. Полученные данные, предсказанные по разработанной модели, дают возможность провести оценку снижения когнитивных функций в связи с тяжелыми повреждениями ДНК в нервных клетках после облучения. Данные методы также внесут вклад в оценку рисков радиационного воздействия на организм космонавтов при осуществлении межпланетных полётов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-29-01007).

ИЕРАРХИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОБИОЛОГИИ

*А.Н. Бугай, М. Батмунх, А.С. Батова, Л.Баярчимэг, А.А. Глебов, Э.Б. Душанов,
И.М. Енягина, Е.А. Колесникова, А.Ю. Пархоменко, А.В. Чижов*

Лаборатория радиационной биологии Объединенного института ядерных
исследований, Дубна, Россия

bugay@jinr.ru

Одними из приоритетных направлений в современной радиобиологии плотноионизирующих излучений являются повышение эффективности терапии опухолей пучками ускоренных заряженных частиц и оценка радиационной безопасности в ходе межпланетных пилотируемых полетов. В связи со сложностью данных задач требуется развитие методов математического и компьютерного моделирования.

Целью данного исследования является создание иерархии моделей, позволяющих систематизировать экспериментальные данные и изучать пути, которыми радиационно-индуцированные патологии развиваются на разных уровнях организации (от молекул до популяций клеток) и во временных рамках (острые и отдаленные последствия).

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи применяется широкий спектр расчётных методов из разных областей знаний (Монте-Карло моделирование транспорта заряженных частиц через вещество, молекулярная динамика, биофизика полимеров, модели генетических регуляторных сетей и динамики клеточных популяций, модели обработки и передачи информации в нейронных сетях головного мозга), которые упорядочены в иерархию согласно временным и пространственным масштабам протекающих процессов.

Результаты. В качестве примеров в работе рассмотрены две задачи. Первая относится к оценке эффективности перспективного метода увеличения биологической эффективности пучков заряженных частиц при лучевой терапии рака в присутствии ингибиторов синтеза ДНК. На основе полученных данных о повреждениях ДНК сформулированы модели радиационно-индуцированной гибели нормальных и опухолевых клеток в культуре. Разработаны модели объемного роста инокулированных опухолей и исследована их динамика после облучения. Проведена валидация данных моделей на основе известных экспериментальных данных.

В ходе решения задачи о действии космических лучей на центральную нервную систему (ЦНС) в ходе межпланетных полетов проведена оценка влияния заряженных частиц на работу нейронных сетей критических отделов головного мозга (в первую очередь — гиппокампа). Впервые рассмотрено действие спектра частиц с различными энергиями и флюенсами на выход повреждений ДНК. Как результат развития дальнейших патологий в ЦНС после облучения исследовались свойства мутантных и окисленных форм синаптических рецепторов, обеспечивающих межнейронное взаимодействие, динамика нейрогенеза и глиогенеза, воспалительные реакции. Полученные данные были включены в моделирование функциональных свойств нейронных сетей головного мозга, что позволило оценить вероятность сбоев в работе и предсказать возможные наблюдаемые изменения сигналов электроэнцефалографии и функциональной магнитно-резонансной томографии.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего развития современных вычислительных методов для успешного решения теоретических задач радиобиологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-29-01007).

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ ПРЕФРОНТАЛЬНОЙ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

А.Н. Бугай¹, Е.Б. Душанов¹, Е.П. Попова^{1,2}

¹ ЛРБ ОИЯИ, Дубна, Россия

² Сколковский научно-технический институт, Центр нейробиологии и нейрореабилитации, Москва, Россия

E.Popova@skoltech.ru

В связи с возросшей в последние годы опасностью аварий и террористических актов на ядерных объектах, внедрением техники лучевой терапии опухолей головного мозга, а также развитием космических программ длительных пилотируемых полётов за пределами магнитосферы Земли, возникает серьезная проблема оценки радиационного поражения центральной нервной системы и нарушений когнитивных функций. Наибольшую опасность для здоровья человека представляют тяжелые заряженные частицы. В связи со сложностью проведения экспериментов на живых организмах для решения рассматриваемой проблемы требуется развитие методов математического и компьютерного моделирования.

Целью нашей работы является компьютерное моделирование радиационно-индуцированного нарушения активности нейронных сетей префронтальной коры для различных видов излучений и поглощенных доз.

Материалы и методы. Для решения задачи мы использовали модель функционирования рабочей памяти на базе нейронной сети, состоящей из слоя пирамидных нейронов и интернейронов, описываемых уравнениями типа Ходжкина-Хаксли с дополнительными ионными токами. Мы изучали нейронную активность в зависимости от наборов входных параметров, соответствующих разным уровням радиационного воздействия.

Результаты. Было получено, что радиационно-индуцированные изменения свойств синаптических рецепторов приводят к нарушению рабочей памяти, что отражается в потере стабильности активных областей нейронной сети. Оценены пороговые дозы, когда такого нарушения не возникает. Для многозарядных ускоренных ионов они в несколько раз ниже, чем для более легких частиц типа протонов.

Выводы. В работе получено, что наиболее опасными являются ионы тяжелых частиц. Предлагаемый теоретический подход дает представление о том, как можно учитывать влияние радиации на когнитивные функции мозга и как использовать данные из молекулярных, клеточных и тканевых моделей изменений процессов в центральной нервной системе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-29-01007).

ИНВАРИАНТНОСТЬ МОДЕЛИ СТАРЕНИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ: ФРАКТАЛЬНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

В.Д. Гладких¹, А.А. Виктор¹, А.В. Алехнович², Е.А. Анофриев³

¹ НПЦ «Фармзащита» ФМБА России, Московская обл., Химки, Россия

² 3 ЦВКГ им. А.А. Вишневого МО РФ, Московская обл., Красногорск, Россия

³ Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия
Gladkich2007@rambler.ru

Человечество в целом является открытой неравновесной динамической самоорганизующейся социально - биологической системой, представляющей собой сложную структуру с иерархическими подсистемами: государствами, поколениями людей, организмом человека и его структурно - функциональными элементами. Эти синергетические системы согласованно взаимодействуют как между собой, так и с окружающими системами внешней среды в составе еще более общей системы - биосферы.

Старение социально - биологических систем является важнейшим циклом их эволюции. В докладе рассмотрено подобие динамики характеристик старения социально - биологических систем человеческого общества различного масштаба: человечества в целом, популяции, поколения, организма человека, его органов, тканей и клеток с единых фрактально - синергетических позиций.

На отдельных примерах иерархических систем показана масштабная инвариантность (скейлинг) базовой математической модели эволюции характеристик старения социально - биологических систем различного уровня. Акцентируется внимание на разработанной ранее базовой математической модели в рамках кинетической теории старения живых систем, представляющей собой нелинейное дифференциальное уравнение первой степени, с параметрами, позволяющими учитывать обратные связи и взаимодействие системы с окружающей средой, в том числе и внешним радиационным воздействием. Частным случаем этого уравнения является известная модель Гомпертца, аппроксимирующая коэффициенты смертности.

На основе созданной компьютерной программы искусственного интеллекта рассматривается пример практического использования рассматриваемой концепции и базовой модели для дооперационного прогноза динамики старения пациентов после радиационной терапии рака аденомы простаты.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ МЕТОДАМИ БИОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ю.А.Эйдельман¹, С.В.Сланина¹, С.Г.Андреев^{1,2}

¹ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия
andreev_sg@mail.ru

Было предположено, что радиационно-индуцированные обменные aberrации хромосом (АХ) формируются по местам контактов поврежденных хромосомных локусов. В случае редкоионизирующей радиации распределение участков, по которым образуются aberrации (брекпойнтов), вдоль хромосомы должно зависеть от распределения контактов, то есть от 3D-организации хромосомы. Развитие высокоточных экспериментальных методов измерения локализации хромосомных контактов (метод Hi-C) и брекпойнтов (метод HTGTS) позволяет проверять контактные механизмы образования АХ экспериментально. В данной работе создана полимерная модель интерфазной мышиной хромосомы 18. На основе этой модели проведен совместный анализ экспериментальных данных по контактам и γ -индуцированным aberrациям в дефектных по гену АТМ лимфобластах мыши. Продемонстрирована высокая корреляция между распределениями хромосомных контактов и брекпойнтов по длине хромосомы. Обсуждаются возможные факторы и альтернативные механизмы, которые могут влиять на распределение брекпойнтов.

СЕКЦИЯ № 10

ДОЗИМЕТРИЯ И МИКРОДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ У ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ.

С.С. Алексанин, Е.Г. Неронова

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М.Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
medicine@nrcerm.ru

Действующим в Российской Федерации законодательством определено право граждан пострадавших от радиационного воздействия вследствие аварии на ЧАЭС, испытаний на Семипалатинском полигоне и аварии 1957 года на объекте «Маяк» и сбросов радиоактивных отходов в реку Теча, на социальную поддержку, которая включает ряд мероприятий, в том числе и компенсацию ущерба здоровью. Одним из важных факторов, имеющих значение при принятии решения о социальных компенсациях и надлежащем медицинском лечении, является наличие информации о полученной дозе облучения, что свидетельствует о необходимости восстановления сведений о полученных дозах облучения для этих категорий лиц. Многочисленными исследованиями неоднократно были продемонстрированы возможности биологической цитогенетической дозиметрии, которая позволяет оценить дозу облучения не только в ближайшее время после воздействия ионизирующих излучений, но и проводить оценку доз облучения ретроспективно. Известно, что абсолютное большинство пострадавших в радиационных авариях контактировали с малыми дозами ионизирующих излучений, однако возможности ретроспективной цитогенетической дозиметрии в этой области могут быть ограничены из-за порога чувствительности метода, который по данным литературы составляет 10 сГр.

Цель. оценить возможности использования методов цитогенетической дозиметрии у лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующих излучений в результате аварии на ЧАЭС и испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, в отдаленном периоде времени.

Методы. Проведена биологическая дозиметрия ионизирующих излучений методом FISH-анализа хромосомных стабильных aberrаций (транслокаций) у ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) на ЧАЭС спустя 27–30 лет после участия в ликвидационных работах и граждан, проживавших в Семипалатинском регионе во время проведения ядерных испытаний, но переехавших в другие регионы за 20-30 лет до проведения цитогенетического обследования.

Результаты. Ретроспективная биологическая оценка дозы облучения была проведена у 108 ЛПА на ЧАЭС и 82 жителей Семипалатинского региона. У 18 % обследованных ЛПА установлены биологические дозы радиационного воздействия, которые находились в пределах от 14 до 48 сГр. FISH-анализ транслокаций позволил выявить повышенную, по сравнению с контрольными значениями, частоту стабильных aberrаций у 26 % обследованных жителей Семипалатинского региона и установить биологические дозы облучения, которые находились в пределах от 16 до 62 сГр.

Заключение. В результате проведенных исследований продемонстрирована возможность восстановления биологических доз у лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующих излучений в отдаленном периоде после контактов радиации. В результате исследования также были выявлены факторы (состояние здоровья, наличие онкологических заболеваний, проведение радиотерапии или химической терапии), которые следует учитывать при проведении ретроспективной биологической дозиметрии и свидетельствующие о необходимости учета и анализа анамнестических данных пациентов для корректной трактовки полученных результатов.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ВОДЕ

¹А.Г.Алексеев, ²А.В.Антипов

¹НИЦ Курчатовский институт - ИФВЭ, г.Протвино, Московская обл.

²ЦГиЭ № 174 ФМБА России, г.Протвино, Московская обл.

alexeev@ihep.ru

Мерой воздействия ионизирующего излучения (ИИ) на вещество является поглощенная энергия ионизирующего излучения веществом. Поглощенная энергия не поддается простому определению из-за сложности и многообразия протекающих при этом процессов. Измерение поглощенной энергии на единицу массы облучаемого вещества определяет понятие поглощенной дозы.

Основными видами взаимодействия ионизирующего излучения на вещество являются возбуждение атомов и молекул, ионизация атомов и молекул, ядерные взаимодействия. Процессы диссипации поглощенной энергии в веществе в упрощенном виде можно представить как:

1. возбуждение атомов и молекул с выделением фононов-квантов света и тепла;
2. ионизация атомов и молекул;
3. рекомбинация образованных ионов с выделением фононов-квантов света и тепла.

Первый и третий процессы сопровождаются высвечиванием квантов света, что представляется определением люминесценции.

Измерению люминесценции в воде, как тканезквивалентной жидкости, посвящена данная работа. Выход света в результате взаимодействия ионизирующего излучения на вещество (люминесценция) определяется счетом квантов света с помощью ФЭУ. Таким образом количество квантов света связано с поглощенной энергией.

Результатом проведенных исследований свечения воды под действием ИИ является создание нового метода прямого измерения поглощенной дозы в воде без использования зондов (возмущающих дозовое распределение) что существенно повышает точность измерения. При использовании высокочувствительных фотокамер можно получать распределения поглощенной дозы в водном фантоме от любых видов ИИ и в том числе смешанных полей ИИ любого состава и энергетического спектра.

АЛМАЗНЫЙ ДЕТЕКТОР ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Г.Алексеев¹, А.В.Антипов²

¹НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, г.Протвино, Московская обл.

²ЦГиЭ № 174 ФМБА России, г.Протвино, Московская обл.

alexeev@ihep.ru

Интерес к применению алмаза в качестве детектора ионизирующих излучений обусловлен его уникальными физическими и химическими свойствами. Это полупроводник с широкой (5.5 эВ) запрещенной зоной. Детекторы на основе природных алмазов показали очень высокую радиационную стойкость (максимально допустимый поток нейтронов около $5 \cdot 10^{14}$ н/см², низкий шумовой вклад тока утечки, и способность работать при высокой температуре и в агрессивных химических средах. Кроме того, атомный номер алмаза ($Z = 6$) близок к эквивалентному атомному номеру живой ткани ($Z = 7.1$), что делает его тканеэквивалентным детектором, пригодным для дозиметрических применений.

Целью данного исследования образца изделия на основе эпитаксиальных слоев алмаза, выращенных с использованием осаждения из газовой фазы на сильнолегированных бором НРНТ подложках посвящена данная работа. Алмазный образец изготовлен в ФГБНУ ТИСНУМ.

Материалы и методы. Алмазный образец размерами 4*4*0,3мм с нанесенными на плоскости металлическими контактами был опробован в качестве ионизационной камеры в различных полях ионизирующих излучений ускорительного комплекса У-70.

Результаты. Показана возможность работы алмазного образца в кольцевом зале У-70 в качестве датчика потерь пучка. Измерения с алмазным образцом, выполненные в пучке ионов углерода на 25 канале ускорительного комплекса У-70 показали возможность применения для измерения распределения поглощенной дозы в тканеэквивалентном фантоме.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА РБС У-70

А.Г.Алексеев¹, В.А.Пикалов¹, О.В.Кирюхин²

¹НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, г.Протвино, Московская обл.

²ООО «АтомПромИнжиниринг», г.Протвино, Московская обл.

alexeev@ihep.ru

На базе ускорительного комплекса У-70 в НИЦ Курчатовском институте –ИФВЭ создан радиобиологический стенд (РБС) на базе канала №25. В канал выводится пучок ядер углерода с энергией 455 МэВ/нуклон. Последние 5-6 лет на базе РБС проводятся радиобиологические исследования целым рядом научных коллективов.

Целью данного исследования –разработка методики дозиметрического сопровождения этих экспериментов. В данной работе приведены основные особенности измерения поглощенной дозы в пучке ядер углерода.

Материалы и методы. Используются два типа дозиметров:

- клинические дозиметры с набором ионизационных камер;
- интегральные детекторы (дозиметры) – термолюминесцентные детекторы (ТЛД) и радиохромные пленки ЕВТЗ.

Первый тип дозиметров используется для калибровки систем мониторингирования перед проведением облучения биологических объектов. Второй тип – как правило облучается с биологическими объектами и позволяет уточнить отпущенную во время облучения дозу.

Используемые типы ТЛД: ММТ7 (поликристаллические детекторы, изготовлены RADCARD –Польша, материал LiF-обогащенный изотопом лития-7); ДТГ-4-монокристаллические детекторы, изготовлены Ангарским филиалом ООО «НПО «Центротех», материал LiF, естественное содержание изотопов лития.

Результаты. Были изучены характеристики интегральных детекторов и уточнены параметры, учитывать которые нужно при дозиметрии в пучке ядер углерода, но которыми можно пренебречь при дозиметрии гамма излучения:

- зависимость чувствительности от ЛПЭ излучения; в зависимости от точки измерения на кривой Брегга поправка может составлять от 10 до 40%;
- было показано, что такие эффекты как зависимость потери чувствительности от времени после отжига детектора и зависимость потери информации от времени после облучения более ярко выражены, чем для гамма излучения.

Кроме того было показано, что использование метода высокотемпературного отношения (НТР- метод) для термолюминесцентных детекторов (ТЛД) позволяет корректировать результат измерения поглощенной дозы по зависимости чувствительности от величины ЛПЭ. Расчетным способом было показано, что образующиеся в водном фантоме в результате ядерных реакций от пучка углерода тепловые нейтроны не вносят значимой погрешности при измерении поглощенной дозы с помощью ДТГ-4, которые имеют естественное содержание изотопов лития-6. Что позволяет использовать более дешевые ДТГ-4, чем детекторы со специальным обогащением по изотопу лития. Была разработана специальный метод калибровки ТЛД, позволяющий существенно уменьшить погрешность измерения.

Выводы. Разработанная методика дозиметрического сопровождения радиобиологических экспериментов позволяет измерять величину поглощенной дозы на РБС не хуже 5-6%.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРИМЕРЕ ПАО «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»

Е.О. Грановская, А.М. Полещук, О.А. Дорохова, Е.Ю. Максимова,

Е.А. Корнева, А.А. Шитова, Е.А. Дашанова

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный
медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

mephistka@gmail.com

Согласно Методическим указаниям по методам контроля МУК 2.6.5.13-07 «Порядок проведения радиационного контроля на ОАО «Машиностроительный завод», основным методом получения оценок ожидаемой эффективной дозы (ОЭД) работников является дозиметрический контроль рабочих мест (ДКРМ) на основании результатов измерений активности урансодержащих аэрозолей в воздухе рабочей зоны.

Целью данного исследования является оценка правомочности модели ДКРМ, основанной на измерении активности урансодержащих аэрозолей в воздухе рабочей зоны: посредством сравнения результатов ДКРМ с результатами выборочного индивидуального дозиметрического контроля (ИДК).

Материалы и методы. Проведен радиохимический анализ на содержание альфа-излучающих радионуклидов урана ежеквартальных парных проб (собираемых за два последовательных дня) мочи 20 работников, находящихся в контакте с открытыми радионуклидными источниками. Для всех обследованных на основании результатов измерений получены оценки ОЭД с использованием специализированной компьютерной программы ММК-02. Работа велась в соответствии с метрологически аттестованными методиками измерений и выполнения расчётов. Проведено сравнение результатов ИДК с дозовыми нагрузками, определёнными специалистами ПАО «МСЗ» при осуществлении ДКРМ.

Результаты. Полученные результаты измерений содержания альфа-излучающих радионуклидов урана в пробах мочи работников предприятия свидетельствуют о контакте обследованных лиц с открытыми урансодержащими источниками. В ряде случаев отмечено расхождение между оценками ОЭД, полученными в ходе осуществления ИДК и ДКРМ. При этом для всех обследованных работников оценки ОЭД, полученные как согласно ДКРМ, так и ИДК, не превышают долей предельных значений, установленных Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009.

Выводы. Можно предположить, что расхождение результатов ИДК и ДКРМ является указанием на систематические смещения (в противоположные стороны от истинного значения оцениваемой величины) оценок, получаемых при использовании вышеуказанных методов дозиметрического контроля. Для выявления причин данного расхождения требуется проведение специальной научно-исследовательской работы на базе предприятия. В частности, необходима верификация численных значений параметров модели, положенной в основу ДКРМ.

ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА, ЗАНЯТОГО НА УЧАСТКАХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОКС-ТОПЛИВА

*А.В. Ефимов, М.В. Ишунина, С.А. Сыпко, А.Б. Соколова, А.Б. Джунушалиев,
В.Р. Баталов, С.А. Романов*

Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерск, Россия,
s_rmv@mail.ru

В связи с внедрением на предприятиях Государственной корпорации «Росатом» технологий по производству смешанного оксидного уран-плутониевого (МОКС) топлива становится актуальной проблема контроля ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей у работников производства и оценки доз внутреннего облучения. Физико-химические характеристики аэрозолей, генерация которых сопровождает процессы фабрикации МОКС топлива и содержащих несколько видов оксидов делящихся материалов, при их ингаляционном поступлении могут существенно отличаться от стандартных характеристик, принятых в нормах радиационной безопасности для интерпретации результатов контроля.

Цель исследования состоит в обосновании и формулировке необходимости изучения и учета реальных условий облучения при выполнении дозиметрического контроля профессионального внутреннего облучения персонала, занятого на участках по производству МОКС топлива.

Материалы и методы. Были получены результаты серии прямых измерений методом спектрометрии излучения человека (СИЧ) содержания ^{241}Am в легких, а также изотопов плутония и урана в кале, выполненных методом альфа-спектрометрии. Оценку величины поступления и доз внутреннего облучения выполняли по стандартной модели определения доз с использованием моделей биокинетики, рекомендованных Публикациями №66 и №67 Международного Комитета по Радиологической защите (МКРЗ). Рассмотрены результаты исследований биокинетики плутония и урана после их поступления в организм человека в формах, характерных для аэрозолей, генерируемых при производстве МОКС топлива, а также выполнена оценка их применимости при разработке специальной модели оценки доз.

Результаты. Получены результаты продолжительного контроля скорости экскреции урана и плутония с мочой и калом у работников, подвергшихся острому ингаляционному поступлению радиоактивных аэрозолей на участке по производству МОКС топлива. Выполнены оценки величины поступления и дозы внутреннего облучения в терминах нормируемых величин по стандартной модели определения доз. Показано, что наблюдаемая динамика выведения нуклидов с экскретами не может быть описана посредством применения стандартной модели. Также отмечено, что коэффициент ускорения выведения плутония под действием СаДТПА при поступлении соединений, являющихся компонентами МОКС топлива, может отличаться от такового при поступлении плутония в формах оксидов и нитратов.

Выводы. Сформулированы выводы о необходимости разработки и применения специальной модели, учитывающей реальные условия облучения для уточнения дозиметрических величин и интервалов их неопределённости. Обоснована необходимость изучения и учета реальных условий облучения при выполнении оценок доз внутреннего облучения персонала производств по фабрикации МОКС топлива. Предложены и обоснованы задачи исследований и разработок, направленных на совершенствование методов дозиметрического контроля.

ОСОБЕННОСТИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА БИОСПУТНИКАХ

О.А. Иванова, В.А. Шуршаков
ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Москва, Россия
shurshakov@imbp.ru

Еще в Советском союзе была начата программа «Бион». Ее цель заключалась в проведении в космосе биологических экспериментов. Первый спутник «Бион-1» был запущен в 1973 году, одиннадцатый в 1996 году. После чего программа «Бион» была завершена из-за отсутствия финансирования. Полеты проходили на низких орбитах, апогей порядка 400 км, перигей 220 км. В качестве основных объектов исследования на «Бион-1»- «Бион-9» использовались крысы, на «Бион-6»- «Бион-11» обезьяны.

После 16-летнего перерыва в 2013 году возобновились полеты в космос биологических спутников. Орбита полета «Бион-М» №1 была значительно выше предыдущих биоспутников, порядка 580 км. Специально для этого полета был разработан и создан комплекс научной аппаратуры для определения характеристик космического ионизирующего излучения внутри и снаружи космического аппарата с учетом ожидаемых параметров космической радиации на трассе полета. Полет «Бион-М» №2 запланирован на 2022 год, высота орбиты порядка 800 км.

Целью данного исследования является анализ результатов дозиметрического сопровождения в космическом эксперименте на КА «Бион-М» №1 и определение оптимального состава средств дозиметрии для КА «Бион-М» № 2.

Материалы и методы. Измерение динамики мощности дозы ионизирующего космического излучения на биологическом спутнике на высокоширотной орбите с использованием активного полупроводникового детектора и пассивных – термолюминесцентных и твердотельных трековых детекторов; для измерения дозы нейтронов использованы пузырьковые («баббл») детекторы.

Результаты. Получены данные о перепаде дозовых нагрузок внутри космического аппарата «Бион-М» № 1 в терминах как поглощенной, так и эквивалентной дозы; проведено разделение вклада различных компонент космической радиации внутри биологического спутника (электроны, протоны, тяжелые ядра, нейтроны). С учетом увеличенной высоты орбиты дозы за 30 суточный полет соответствовали дозовой нагрузке за полугодовой полет на МКС. Специально для полета «Бион-М» № 2 с учетом опыта, полученного на «Бион-М» №1, разработан усовершенствованный комплекс дозиметрической аппаратуры, который позволит проводить измерения динамики мощности дозы ионизирующего космического излучения не только внутри, но и снаружи КА, измерять спектры линейной передачи энергии (ЛПЭ) от различных источников ионизирующего космического излучения за разными толщинами защиты внутри СА, измерить интегральные за весь полет поглощенную и эквивалентную дозы в 32 точках внутри СА и в 4 снаружи

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что усовершенствованный комплекс аппаратуры позволит провести разделение полученных доз космической радиации по компонентам (вклад от электронов, протонов, тяжелых заряженных частиц и нейтронов). Ожидаемые дозы за 30 суточный полет будут соответствовать дозам за 3-х годичный полет на МКС.

ПЕРЕХОД ОТ ДОЗ НА ОСИ ПУЧКОВ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ ФАНТОМЕ К ДОЗАМ В ВОДНОМ ФАНТОМЕ ДЛЯ МАЛЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.А. Климанов^{1,2}, Ж.Ж. Галяутдинова¹, Ю.С. Кирпичев³, М.А. Колыванова¹

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия,

² Научно-исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

³ РОНЦ им. Н.Н. Блохина

Janetta1985@mail.ru

Дозиметрические протоколы лучевой терапии основаны на измерениях в водном фантоме (ВФ). В тоже время быстрые QA-тесты подразумевают использования водо или тканеэквивалентных твердотельных фантомов (ТФ). В этом случае требуется пересчет значений поглощенной дозы, полученных в ТФ, в значения для водной среды.

Целью работы является разработка методики перехода от измерений или расчета значений поглощенной дозы на оси пучков в ТФ к значениям дозы в ВФ для малых полей высокоэнергетического тормозного излучения.

Материалы и методы. Для масштабирования дозовых распределений на среды с другой электронной плотностью используется теорема О'Коннора. Однако она имеет ряд ограничений: все геометрические параметры (SSD, поперечные размеры фантомов и полей, глубины точек измерения) масштабируются обратно пропорционально отношениям плотности электронов в воде и материале ТФ. Также накладываются ограничения на спектр фотонов областью, где доминирует комптоновское взаимодействие. При выполнении условий теоремы соотношение флюенсов энергии в ВФ и ТФ будет следующим:

$$\frac{\Psi_w(z_{ref}, r_{ref})}{\Psi_m(z_{eq}, r_{eq})} = \left(\frac{f_{eq} + z_{eq}}{f_{ref} + z_{ref}} \right)^2,$$

где f_{eq} и f_{ref} – эквивалентное и референсное расстояния РИП (SSD), z_{eq} и z_{ref} – эквивалентная и референсная глубины определения дозы для обоих фантомов соответственно;

Условия, где работает теорема масштабирования, не просто реализовать на практике. В работе предлагается для малых полей простой способ перехода от доз в ТФ к дозам в ВФ для малых полей, когда размеры фантомов, расстояния источник-поверхность фантома и размер поля не масштабируются. В этом случае соотношение между дозами будет определяться по формуле:

$$\frac{D_w(Q, z_{ref}, r)}{D_m(Q, z_{eq}, r)} = \left(\frac{f + z_{eq}}{f + z_{ref}} \right)^2 \cdot k_{m,s}(Q, r),$$

где $k_{m,s}(Q, r)$ – поправочный коэффициент, учитывающий разный вклад в дозу рассеянного излучения в обеих геометриях для пучка качеством Q и размером поля r и различие в коэффициентах поглощения энергии для материала ТФ и воды. Назовем этот коэффициент конверсионным фактором ТФ.

Результаты. В работе, используя метод Монте-Карло, проведен расчет конверсионных факторов для тормозных фотонов с максимальной энергией 15 и 18 МэВ. На ускорителе Varian Trilogy 20 выполнено экспериментальное определение этого фактора.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и СИТМА в рамках научного проекта № 18-52-34008.

ОБЪЕМНЫЙ ЭФФЕКТ МИКРОИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИ ДОЗИМЕТРИИ МАЛЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.А. Климанов^{1,2}, П.Н. Казанцев³, М.А. Колыванова¹, С.М. Полозов²

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия,

² Научно-исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

³ Международное агентство по атомной энергии, Вена, Австрия
vaklimanov@mail.ru

Дозиметрия малых полей встречает ряд серьезных проблем, связанных в том числе и с эффектом усреднения показаний по чувствительному объему детектора (объемный эффект), когда размеры детектора сравнимы с поперечными размерами полей.

Цель данного исследования состоит в получении поправочных коэффициентов, учитывающих объемный эффект для нескольких моделей микроионизационных камер и твердотельных детекторов, выпускаемых компанией PTW.

Материалы и методы. Для определения поправочных коэффициентов были проведены расчеты пространственных распределений поглощенной дозы в водном фантоме методом Монте-Карло. Эти распределения определялись на референсной глубине 10 см для пучков тормозного излучения от ускорителя компании VARIAN с максимальной энергией 15 и 18 МэВ, создающих на уровне изоцентра квадратные поля размером от 0.5 до 4.0 см при SSD = 90 см. Расчеты методом Монте-Карло проводились в два этапа по коду EGSnrc (версия 2018 г.), используя программы этого кода BEAMnrc и DOSRZnrc.

На первом этапе по программе BEAMnrc рассчитывались PSF-файлы (файлы фазового пространства), содержащие детальную информацию о характеристиках фотонов, пересекающих виртуальную плоскость, расположенную на поверхности водного фантома, для разных размеров полей. При моделировании транспорта ионизирующего излучения через гантри ускорителя использовалась детальная геометрия головки, представленная производителем. Пучки электронов, падающие на тормозную мишень, принимались моноэнергетическими, симметричными относительно геометрической оси пучков, но с гауссовским пространственным распределением относительно радиальной переменной.

На втором этапе по программе DODRZnrc были рассчитаны внеосевые отношения дозы (OAR) для малых полей на глубине 10 см в водном фантоме. Поправочный фактор на усреднение показаний по объему детекторов определялся по формуле:

$$k_{vol} = \iint_A w(x, y) dx dy / \iint_A w(x, y) \cdot OAR(x, y) dx dy,$$

где x и y – координаты на плоскости, перпендикулярной к оси пучка; A – площадь чувствительного объема детектора, спроецированная на эту плоскость; $w(x, y)$ – весовая функция, определяемая на основе принятой в расчете геометрической модели детектора.

Результаты. В работе были определены поправочные факторы k_{vol} для микроионизационных камер компании PTW моделей 31010, 31021, 31015, 31016, диода типа 60016 P и микроалмаза типа 60019.

Выводы. В отличие от дозиметрии референсных полей для малых полей значения k_{vol} существенно отличаются от единицы и, следовательно, учет объемного эффекта при дозиметрии малых полей является обязательным.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и СИТМА в рамках научного проекта № 18-52-34008.

ВОПРОСЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНОК БИОТЫ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Т.В. Переволоцкая

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

Актуальность защиты окружающей среды от потенциальных угроз, в том числе и ионизирующего излучения, определяется тем, что в современных условиях объективно возрастает необходимость разработки системы оценки и управления экологических рисков в отношении биоты (исключая человека) в целях обеспечения радиологической защиты окружающей среды.

В этой связи рекомендациями Международной комиссии по радиологической защите предложен системный подход в отношении принципов защиты биоты, что позволит восполнить пробелы в данной сфере. Один из которых – отсутствие единых методических подходов к оценке радиационного воздействия на биоту для различных сценариев развития радиационно-экологической обстановки, что затрудняет гармонизацию международных и национальных положений.

За последние годы в обществе произошли значительные сдвиги в положительном восприятии проблем обеспечения защиты окружающей среды и, в частности, биоты от воздействия ионизирующего излучения. Выработана общая точка зрения ученых и деловой общественности, что экосистема и биота могут и должны быть защищены. На этой основе Международной комиссией по радиологической защите разработана концепция референтных организмов и рекомендованы методические подходы по проведению дозиметрических оценок биоты, зависимости и диапазон определенных эффектов от величины дозы для референтных животных и растений.

Вместе с тем, Международной комиссией по радиологической защите обозначена необходимость изучения и дальнейшего развития дозиметрических оценок биоты, связанных с ограниченностью применения существующих модельных представлений в условиях неравновесного распределения радионуклидов в биогеоценозе и референтных организмах, точностью представления геометрии источника и приемника излучения, недостаточным описанием зависимости между величиной дозы и облучением наземных растений и животных. Выделенным аспектом проблемы является также отсутствие дозиметрической модели для системы «древесное растение», особенно сосны обыкновенной, как наиболее радиочувствительного вида. Причина заключается в недостаточности количественных характеристик оценки доз на элементы данной системы, при этом вклад β -излучения в формирование дозы в начальную фазу радиоактивных выпадений практически не изучен. Вероятно, это определено целым рядом трудностей, главная из которых связана с недостаточной изученностью формирования пространственного и энергетического распределения поля ионизирующего излучения в лесных биогеоценозах в условиях динамического характера распределения радионуклидов в исследуемой системе.

Основу данных исследований должен составлять комплексный подход, базирующийся как на данных экспериментальных наблюдений, так и на результатах расчетов с применением проблемно-ориентированных модельных подходов. Это позволит получить информацию о распределении радионуклидов в компонентах исследуемого биогеоценоза при различных сценариях поступления радиоактивных веществ в окружающую среду, связанного с ним основных характеристиках поля ионизирующего излучения и вероятных дозах облучения биоты (исключая человека).

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ

Т.В. Переволоцкая

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

Оценка распределения поглощенной дозы в лесном биогеоценозе и степень радиационного воздействия на хвойные древесные растения от гамма- и бета излучения при аварийных радиоактивных выпадениях может быть проведена с применением расчетных методов.

Цель данного исследования заключалась в разработке основных подходов и допущений миграционно-дозиметрической модели для оценки дозы от гамма- и бета-излучения хвойных древесных растений при аварийных радиоактивных выпадениях.

Материалы и методы. Методическую основу составляют методы теории систем и системного анализа, системного подхода, аналитически-численный.

Результаты. В основу миграционно-дозиметрической модели оценки облучения древесных растений положен комплексный подход, включающий расчет величины осаждения радионуклидов на земную поверхность на основе Гауссовой модели распространения кратковременных выброса, прогнозирование распределения радионуклидов выброса в лесном биогеоценозе с применением системы линейных дифференциальных уравнений и дозы внешнего облучения древесных растений от его загрязненных элементов биогеоценоза, оцененных на основе интегрирования дозовой функции ослабления точечного источника излучения. При разработке модели разработан ряд подходов и допущений. Предполагается неизменность физико-химических форм радионуклидов и метеорологических условий на протяжении всего времени аварийного выброса. Интенсивность и радионуклидный состав выброса принимаются постоянными. Скорость гравитационного осаждения радиоактивных изотопов инертных газов и ^{14}C принята равная нулю, радиоизотопов йода - 0,02 и 0,0005 м·с⁻¹ для молекулярной и органической форм соответственно, аэрозолей – 0,008 м·с⁻¹. Коэффициент первоначального задерживания радионуклидов из атмосферы для сосновых насаждений принят постоянным в течение вегетационного сезона с аварийным выбросом. Осаждение принимается равномерным по всей высоте кроны древесных растений. Процессы поверхностного очищения поверхности надземной фитомассы крон начинаются непосредственно после осаждения радионуклидов. Радионуклиды, поступившие на напочвенный покров (зеленые мхи или лесная подстилка), равномерно распределяются в пределах этого слоя, и, постепенно мигрируют за его пределы. Радионуклиды распределяются в пределах поверхностного слоя почвы с массовой толщиной 0,5 г·см⁻², корневым поступлением радионуклидов из состава аварийных радиоактивных выпадений в древесное растение пренебрегаем. Распространение излучения под пологом леса рассмотрено в гомогенной воздушно-растительной среде от надземной фитомассы кроны, напочвенного покрова и поверхностного слоя почвы. Значение коэффициентов массового ослабления и поглощения приняты в соответствие с плотностью воздушно-растительной среды.

Выводы. Разработан ряд допущений миграционно-дозиметрической модели на основе закономерностей распространения радиоактивной примеси в атмосфере при кратковременном поступлении, функционирования лесных экосистем с перераспределением радиоактивных веществ между их основными компонентами и формирования дозовых полей ионизирующих излучения в лесных насаждениях.

МИГРАЦИОННО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОТ ГАММА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ

Т.В. Переволоцкая

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

Применение методов математического моделирования позволяет дать оценку содержания радионуклидов в основных компонентах лесного биогеоценоза и связанного с ним внешнего облучения хвойных древесных растений при аварийных радиоактивных выпадениях.

Целью исследования являлась разработка миграционно-дозиметрической модели облучения хвойных древесных растений при аварийных радиоактивных выпадениях.

Материалы и методы. Методическую основу составляет аналитически-численный метод.

Результаты. В состав миграционно-дозиметрической модели, разработанной на основе принятых допущений и подходов, включены два миграционных и один дозиметрический расчетные блоки. Первый миграционный блок базируется на Гауссовой модели рассеяния и предназначен для расчета объемной активности в атмосферном воздухе и интенсивности осаждения радионуклидов на земную поверхность из облака аварийного радиоактивного выброса. Второй миграционный блок, исходя из величины интенсивности осаждения радионуклидов, позволяет рассчитать динамику их активность в системе «поверхность надземной фитомассы древесных растений - напочвенный покров - поверхностный слой почвы» на основе системы линейных дифференциальных уравнений I порядка с постоянными параметрами переноса между исследуемыми компонентами.

Дозиметрический блок модели основан на интегрировании функции ослабления точечного источника излучения с учетом фактора накопления рассеянного излучения. Предназначен для расчета мощности поглощенной дозы на различной высоте древостоя от внешнего β - и γ -излучения, обусловленной нахождением радионуклидов из состава аварийного выброса в следующих источниках: облако аварийного радиоактивного выброса в течение времени его существования, поверхность надземной фитомассы, напочвенный покров (зеленые мхи или лесная подстилка) и поверхностный слой почвы на протяжении оставшейся части вегетационного периода после радиоактивных выпадений. Геометрия излучения облака – полубесконечное пространство, остальных источников излучения – бесконечно протяженный в продольном направлении слой конечной толщины. Принято равномерное распределение активности радионуклидов из состава выброса в каждом из источников излучения.

Выводы. Разработанная модель предназначена для оценки: объемной активности и интенсивности осаждения радионуклидов из состава аварийного выброса на земную поверхность; активности радионуклидов в системе «поверхность надземной фитомассы древесных растений - напочвенный покров - поверхностный слой почвы»; мощности поглощенной дозы внешнего β - и γ -излучения на различной высоте древостоя.

ОЦЕНКА ДОЗЫ ВНЕШНЕГО БЕТА- И ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ШТАТНЫХ ВЫБРОСАХ ЛАЭС-2

А.Н.Переволоцкий

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

Оценка облучения референтных организмов является одной из актуальных задач обеспечения радиационной безопасности окружающей среды при работе предприятий, применяющих ядерные технологии. В ходе исследований в этом направлении разработана комплексная миграционно-дозиметрическая модель формирования облучения референтных растений при хронических радиоактивных выпадениях, включающая миграционную (расчет интенсивности осаждения радионуклидов из состава выброса на земную поверхность и динамики их активности в компонентах исследуемого биогеоценоза) и дозиметрическую (расчет динамики мощности дозы растений от различных источников излучения) составляющие.

Целью исследования являлась оценка содержания радионуклидов в основных компонентах лугового биогеоценоза и доз облучения растений на основе миграционно-дозиметрической модели.

Материалы и методы. В качестве исходных данных приняты среднесезонные повторяемость метеорологических условий и активности ^{137}Cs и ^{131}I в планируемых штатных выбросах ЛАЭС-2. Расчеты мощности дозы облучения травянистых растений выполнены на основе разработанной миграционно-дозиметрической модели.

Результаты. Установлено, что на расстоянии ~ 1000 м от источника выпадений интенсивность осаждения на земную поверхность составит ~ 1 мБк/(м²·сут) по ^{131}I и 0,4 по ^{137}Cs . На периферии 30 км зоны этот показатель снизится 25 раз. Наибольшая активность ^{137}Cs среди компонент лугового биогеоценоза прогнозируется на поверхности дернины $< 0,1$ Бк/м², ^{131}I – на поверхности растительного опада $< 0,01$ Бк/м². Минимальная активность обоих радионуклидов характерна для надземной фитомассы травянистых растений $< 0,001$ Бк/м². Работа АЭС в течение 30 лет приведет к возрастанию плотности загрязнения дернины ^{137}Cs до 3 Бк/м² на расстоянии 1000 м от источника выброса, а удельная активность радионуклида в травянистых растениях лугового биогеоценоза, обусловленная корневым путем поступления, не превысит десятых долей Бк/кг.

Наибольший вклад в мощность поглощенной дозы травянистых растений вносит излучение радионуклидов, накопленных за годы хронических радиоактивных выпадений в дернине: $\sim 10^{-4}$ мкГр/сут по γ - и $\sim 10^{-5}$ мкГр/сут по β -излучению ^{137}Cs . Мощность дозы, обусловленная β - и γ -излучением ^{137}Cs , находящимся на поверхности дернины и γ -излучением ^{137}Cs от растительного опада не превысит $\sim 3 \cdot 10^{-6}$ мкГр/сут. Мощность поглощенной дозы, обусловленная γ -излучением ^{131}I $< 10^{-6}$ мкГр/сут от дернины и поверхности растительного опада. γ - и β -излучение от других источников ^{131}I прогнозируется $< 10^{-7}$ мкГр/сут.

Выводы. Выполненные расчеты свидетельствуют о очень малом дополнительном загрязнении почвы за счет 30 летней работы АЭС (0,1-0,3% от уровня глобальных радиоактивных выпадений). Мощность поглощенной дозы, обусловленная γ - и β -излучением радионуклидов из состава штатного выброса будет находиться на уровне 10^{-5} - 10^{-4} мкГр/сут, что на несколько математических порядков ниже по сравнению с уровнем естественного радиоактивного фона.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЛУГОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ

А.Н.Переволоцкий

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Россия

aleks_perevolotsky@mail.ru

В настоящее время оценки доз облучения живых организмов проводятся с применением коэффициентов дозового преобразования. Преимуществом такого подхода является простота и низкая трудоемкость проведения расчетов, а недостатками является необходимость соблюдения геометрий источника и приемника излучения, а также условия квазиравновесного распределения радионуклидов в окружающей среде. По этим причинам разработка новых методов оценки доз облучения биоты не теряет своей актуальности.

Цель исследования – разработка миграционно-дозиметрической модели формирования облучения травянистых растений луговых биогеоценозов при хронических выпадениях.

Материалы и методы. Исследования основаны на аналитико-численном методе.

Результаты. Модель формирования облучения травянистых растений в луговых биогеоценозах базируется на интегрировании дозовой функции ослабления точечного источника ионизирующего излучения с учетом фактора накопления рассеянного излучения от компонент биогеноза, содержащего радионуклиды выпадений. В модели рассмотрено формирования доз β - и γ -облучения растений от облака радиоактивного выброса, растений, загрязненных радионуклидами по внекорневому и корневому пути поступления радионуклидов, почвы от радиоактивных веществ, накопленных за предыдущие годы выпадений. Исходными данными для дозиметрических оценок являются расчетные значения активности радионуклидов выброса в вышеуказанных компонентах биогеоценоза. Объемная активность радионуклидов в облаке штатного выброса и интенсивность осадения на земную поверхность рассчитывается с помощью Гауссовой модели рассеяния примеси в атмосфере для среднемноголетних метеорологических условий. Активность в системе "поверхность надземной фитомассы – растительный опад – поверхность дернины" рассчитывается исходя из величины ежесуточного поступления радионуклидов из состава штатного выброса в луговой биогеоценоз. Прогнозирование динамики активности осуществляется на основе системы линейных дифференциальных уравнений I порядка. В параметрах системы уравнений учитывается изменение коэффициента задерживания радионуклидов в течение вегетационного сезона, обусловленные приростом надземной фитомассы травянистых растений.

Выводы. Предложенная миграционно-дозиметрическая модель формирования облучения травянистых растений позволяет рассчитать динамику активности радионуклидов из состава штатного выброса в основных компонентах лугового биогеоценоза и связанные с ней мощности дозы облучения травянистых растений. Модель может применяться для оценок радиационного воздействия на биоту при штатных радиоактивных выбросах предприятий, применяющих ядерные технологии.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО "МИГРАЦИОННО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЛУЧЕНИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЛУГОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ"

А.Н.ПЕРЕВОЛОЦКИЙ

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

Разработка моделей и программных средств оценки радиационного воздействия на биоту вследствие деятельности предприятий, применяющих ядерные технологии, является одним из путей обеспечения радиационной безопасности окружающей среды.

Целью исследования являлась разработка комплекса программных средств, реализующих миграционно-дозиметрическую модель облучения луговых растений при хронических радиоактивных выпадениях.

Материалы и методы. Исследования выполнены на основании аналитически-численного метода в визуальной среде объектно-ориентированного программирования Lazarus v1.6.

Результаты. Программное средство, реализующее миграционно-дозиметрическую модель облучения травянистых растений состоит из 5 программных модулей:

- "Прогноз распределения радионуклидов в луговом биогеоценозе" для ввода исходных данных по активности выброса радионуклидов и среднемноголетним метеоданным, параметрам растений, растительного опада и дернины. После выполнения расчетов выводятся данные по объемной активности радионуклидов в приземном слое атмосферы, плотности осаждения на земную поверхность, динамике коэффициента задерживания и активности в системе "поверхность надземной фитомассы растений – растительный опад – поверхность дернины" ;

- "Мощность дозы растений от облака штатного выброса" для расчета мощности поглощенной дозы растений от β - и γ -излучения радионуклидов облака штатного радиоактивного выброса;

- "Мощности дозы растений при поверхностном и корневом загрязнении" для расчета динамики мощности поглощенной дозы растений от β - и γ -излучения радионуклидов, находящихся в системе "поверхность надземной фитомассы растений – растительный опад – поверхность дернины", а также накопленных надземной фитомассой по корневому пути поступления из почвы;

- "Мощность дозы растений при фоновом содержании радионуклидов в окружающей среде" для расчета динамики мощности поглощенной дозы травянистых растений от β - и γ -излучения естественных и искусственных радионуклидов постоянно находящихся в компонентах окружающей среды (в атмосферном воздухе, почве и самих растениях);

- "Сравнение дозовых показателей от различных источников облучения" предназначен для сравнения величины мощности поглощенной дозы от различных источников излучения.

Выводы. Разработанное программное средство, реализующее миграционно-дозиметрическую модель позволяет выполнить широкий спектр радиоэкологических расчетов: от оценки интенсивности осаждения на земную поверхность радионуклидов из состава штатного выброса до прогноза их распределения в основных компонентах лугового биогеоценоза и связанного с ним изменения доз облучения травянистых растений.

ДОЗИМЕТРИЯ СИСТЕМНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ КОСТНЫХ МЕТАСТАЗОВ ОСТЕОТРОПНЫМИ РАДИОФАРМПРЕПАРАТАМИ.

Сухов В.Ю.¹, Л.И.Корытова², М.И.Карелин², Т.В.Хазова², В.В.Метелев²

¹ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург

² РНЦРХТ им. А.М.Гранова МЗ РФ, Санкт-Петербург

soukhov@mail.ru

В случаях, когда у онкологических больных с наличием множественных метастазов в костную систему и выраженным болевым синдромом, возможности лекарственной системной терапии уже исчерпаны, а внешние поля облучения при традиционной лучевой терапии не перекрывают все области метастатического поражения скелета, методом выбора является системная лучевая терапия радиоактивными препаратами, локально воздействующими на метастатические очаги в костях.

В настоящее время в клинической практике часто используется препарат ⁸⁹Sr-хлорид, который является бета-излучателем с периодом полураспада 50,55 сут; бета-излучение имеет энергию 1,492 МэВ (100%). Эффективная доза составляет в среднем 0,77 мЗв/МБк

Материалы и методы: В работе приведены результаты применения Стронция-89 хлорида у 375 пациентов в качестве адъювантной системной лучевой терапии при внешнем облучении отдельными полями в сочетании с введением бифосфонатов и химиотерапией препаратами платины и антрациклинами. Всем пациентам, имеющим одиночные или множественные опухолевые очаги в костях скелета и отмечающим выраженный костный болевой синдром, назначали препарат в дозе 4.0 мКи (150 МБк) и внешнее локальное облучение в проекции болевых участков. В случаях преобладания остеолитических поражений – у 54 пациентов – проводилась предварительная терапия бифосфонатами (не позднее 1 месяца до инъекции Стронция-89). Контроль лечения проводили с использованием опросника по методу Карнофского, клинико-лабораторного обследования и радиодиагностических процедур.

Результаты: 272 пациента (72,5%) отмечали уменьшение болевого синдрома после проведенного лечения, из них полное исчезновение болей зарегистрировано у 67 больных (17,8%). В результате лечения Стронцием-89 имелась тенденция к снижению опухолевых маркеров, в том числе щелочной фосфатазы, тогда как после терапии бифосфонатами был зарегистрирован подъем уровня фермента, что интерпретировалось как индикатор реактивации остеобластов.

Дозиметрия и меры радиационной безопасности. После введения ⁸⁹Sr-хлорида мощность дозы излучения в 10 см от поверхности тела пациента в среднем составляет 0,4 мкЗв/ч, что является допустимым уровнем в соответствии с нормами радиационной безопасности (п.5.4.5. НРБ – 99). В соответствии с этим, после введения лечебной дозы препарата допускается выход пациента из радиологического отделения с дальнейшим прохождением лечения в стационаре общего профиля или амбулаторно.

Заключение: Стронций-89 является эффективным средством системной лучевой терапии, особенно в сочетании с внешним локальным облучением и химиотерапией. Биологические эффекты могут значительно модифицироваться условиями облучения: время, локализация, сопутствующие факторы. Так, например, большое значение имеет мощность дозы, или интенсивность облучения, под которой понимают количество энергии излучения, поглощаемое в единицу времени — сутки, час, минуту, секунду и т. д. Таким образом, фактор времени крайне значим в биологическом эффекте излучения, учитывая, что опухоль обладает способностью восстанавливать основную часть радиационного поражения, а равномерное лучевое воздействие излучения ⁸⁹Sr-хлорида приводит к значительному повышению поражающего действия.

РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ДОЗИМЕТРИИ БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ ТРИТИЯ НА КЛЕТОЧНОМ УРОВНЕ

Л. В. Тимофеев, А. А. Максимов, О. А. Кочетков, В. Н. Клочков

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА

России, Москва

maximov418@yandex.ru

Цель данного исследования состоит в адаптации метода традиционной расчётной дозиметрии β -излучения мягкой энергии ($E_{\text{макс}} \leq 250$ кэВ) к определению дозы облучения биологической клетки и ее структур, в результате чего предполагается дать предварительную оценку коэффициентов мощности поглощенной дозы для различных соединений трития на клеточном уровне.

Материалы и методы. В результате анализа существующих расчетных методов дозиметрии β -излучения (аппроксимация Левинджера, аппроксимация Ляйхнера и др.) для адаптации макроскопического метода β -дозиметрии в область субклеточных структур предложено аппроксимационное выражение для функции влияния точечного источника, полученное Л. В. Тимофеевым, Г. Б. Радзиевским и др. Данная аппроксимация обладает рядом достоинств, отличающих ее от других расчетных формул. Это, прежде всего, её применимость для изотопов с малыми значениями $E_{\text{макс}}$, к которым относится тритий, при этом результаты расчетов хорошо подтверждены экспериментально в большом диапазоне энергий. Также выбранную аппроксимацию выгодно отличает учет влияния формы β -спектра на вид радиального распределения поглощенной энергии.

Результаты. Предложены аналитические выражения для расчета поглощенной дозы β -излучения в микроструктурах клетки при неравномерном распределении мягких β -излучателей в тканях человека. Для описания неравномерного распределения радиоактивных веществ в клетках введено понятие базисных состояний модели облучаемой клетки. На основе адаптированных аналитических выражений и базисных состояний предложен способ расчета дозы мягких β -излучателей в клетке и её микроструктурах. С помощью предложенной модели получены значения коэффициентов мощности поглощенной дозы для случая концентрирования органических соединений трития (на примере ^3H -тимидина) только в ядре клетки ($1,8 \text{ мГр} \cdot \text{расп}^{-1}$) и для случая равномерного распределения оксида трития в клетке ($3,5 \cdot 10^{-3} \text{ мГр} \cdot \text{расп}^{-1}$). Полученные значения поглощенной дозы согласуются с данными, представленными в одном из наиболее подробных материалов, посвященных влиянию излучения трития на генетический материал, – Отчету № 63 Национального комитета по радиационной защите и измерениям США.

Заключение: Показано, что метод традиционной расчётной дозиметрии β -излучения мягкой энергии может быть применен для определения дозы облучения биологической клетки и клеточных структур. Предложенную методологию предполагается использовать в дальнейшем при построении на основе экспериментальных данных модели формирования дозы облучения клетки тритием.

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА FISH ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОТ НЕРАВНОМЕРНОГО ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Е.И. Толстых, А.В. Возилова, М.О. Дегтева, А.В. Аклеев

Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
Челябинск, Россия

Неравномерное внутреннее облучение человека связано с попаданием в организм радионуклидов, избирательно накапливающихся в определенных тканях. Наиболее практически значимы остеотропные радионуклиды, такие как изотопы стронция ($^{89,90}\text{Sr}$), поскольку они надолго задерживаются в костной ткани. Анализ хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови методом FISH используется для ретроспективной оценки доз для профессионалов и населения. Обычно доза, определенная с использованием этого метода, расценивается как доза на красный костный мозг (ККМ). Однако при локальном облучении красного костного мозга, интерпретация данных FISH требует учета динамики Т-лимфоцитов и их предшественников в течение жизни доноров.

Целью исследования является оценить практическую применимость модели облучения Т-лимфоцитов и их предшественников у человека, разработанной на основе концепции Т-клеточного рода (Genus, TG), который объединяет Т-клеточного прогенитора и всех его предшественников. Применимость оценивается на результатах исследований FISH у доноров, облучившихся в 1950-е годы на реке Теча, где одним из основных источников облучения был $^{89,90}\text{Sr}$, то есть имело место неравномерное облучение, и дозы на ККМ были в несколько раз выше, чем на другие ткани.

Материалы и методы. Были обобщены результаты цитогенетических исследований 1994–2012 гг. стабильных хромосомных aberrаций для 178 доноров, проживавших в прибрежных селах реки Теча в период сброса радиоактивных отходов. Во всех случаях была выполнена окраска трех пар хромосом цельными хромосомными зондами, что охватывало около 23% генома. Всего было просчитано 96 446 геном-эквивалентов (ГЭ) и обнаружено 2 389 транслокаций. Оценка доз облучения красного костного мозга и вне-скелетных лимфоидных тканей для всех доноров проводилась с использованием последней версии дозиметрической системы реки Теча (TRDS-2016), максимальная доза на ККМ составила 3,6 Гр. Кроме того, для каждого донора были рассчитаны дозы на Т-лимфоциты на основе модели облучения Т-лимфоцитов, в которой учитывались особенности формирования TG и закономерности выхода наивных Т-клеток из тимуса, оцененные Bains I (2010).

В результате исследований были получены регрессионные зависимости частоты транслокаций от дозы на Т-лимфоциты и ККМ. Статистический анализ показал, что частота транслокаций на 1000 ГЭ на 1 Гр дозы ККМ составила $8,0 \pm 0,7$; что статистически значимо ниже, чем значение, оцененное для работников ядерного производства в Sellafield (Cumbria, UK) при внешнем воздействии ($11,6 \pm 1,6$). В то же время, использование модельных оценок доз на Т-лимфоциты и их предшественников привело к переоценке (увеличению) наклона кривой доза-ответ до $11,8 \pm 1,6$ на 1 Гр на 1000 ГЭ, что хорошо согласуется с опубликованными данными. Полученные оценки фоновых частот транслокаций также были близки к опубликованным значениям для необлучённых доноров.

Выводы. Наши результаты демонстрируют возможности метода FISH для ретроспективной биодозиметрии и необходимость учета сложной динамики Т-клеток при интерпретации цитогенетических данных при неравномерном облучении человека. Показана применимость модельного подхода для оценок доз на Т-лимфоциты и их предшественники.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УСТАНОВКЕ ОР-М НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

И.В. Чешигин, И.И. Акимов, Т.М. Бадретдинов, А.С. Дегтярев, Е.И. Уксусов
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия
cheshigin_iv@nrcki.ru

Облучательная установка ОР-М НИЦ КИ предназначена для изучения воздействий проникающего реакторного излучения на биологические и техногенные объекты, для исследований переноса нейтронов и гамма-излучения спектра реактора в материальных структурах и ряда других исследований и испытаний.

Цель. Моделирование равномерного поля быстрых нейтронов и гамма квантов в образцах с биоматериалом (первый этап) и в клетке с лабораторными мышами (второй этап), а также реализация устройств для стационарного облучения при значении мощности поглощенной дозы от нейтронов в несколько раз более высоком, чем по гамма-излучению.

Материалы и методы. Разработано два варианта облучательных устройств.

На первом этапе образцы с биоматериалом облучались в широком, диаметром 0.5 метра и практически мононаправленном, пучке излучений ядерного реактора установки ОР-М НИЦ КИ. В пучке обеспечено подавление гамма-излучения и медленных нейтронов реактора методом пропускания через свинцовый и боросодержащий фильтры соответственно. Мощность поглощенной дозы в местах расположения образца в пучке варьировалась в широких пределах за счет изменения мощности реактора и расстояния до него. Для реализации задаваемой поглощенной дозы продолжительность облучений изменялась от минут до нескольких часов. Применялось дистанционное позиционирование облучаемого объекта в пучке.

На втором этапе, при пролонгированном облучении групп мелких животных с низкой мощностью дозы, использовался комплект из нескольких Pu-Be радионуклидных источников для моделирования в пределах облучательного туннеля установки ОР-М НИЦ КИ стационарного поля с пространственным распределением в сечении клетки, близком к равномерному. В ходе облучений продолжительностью от двух часов до 10 дней был обеспечен необходимый температурный и световой режим, а также видеонаблюдение за поведением и состоянием облучаемых групп мелких животных.

Результаты. Реализована методика и созданы устройства для облучений в стационарных полях радиации: биопрепаратов - в широком пучке излучений реактора с модифицированными энергетическими спектрами и группы мелких животных - в поле излучения, создаваемого с помощью набора Pu-Be источников. Выполнены измерения энергетических спектров нейтронов и гамма квантов с определением на их основе мощности поглощенной дозы в местах расположения объектов и полученной дозы.

Выводы. В результате физического моделирования на установке ОР-М НИЦ КИ полей нейтронов и гамма квантов, которое связано с определением пространственных и энергетических распределений в местах расположения облучаемых биообъектов, были обеспечены радиационные условия, позволившие реализовать исследования радиобиологических эффектов в препаратах и в лабораторных мышах.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №1363 от 25.06.2019 г.)

ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ КРАСНОГО КОСТНОГО МОЗГА ИНКОРПОРИРОВАННЫМ ^{90}Sr

П. А. Шарагин¹, Е. А. Шишкина^{1,2}, Е. И. Толстых¹, М.А. Смит³, М.О. Дегтева¹

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

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
e-mail: sharagin@urcrm.ru

³Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, USA

В середине прошлого века на Южном Урале произошло радиоактивное загрязнение р. Теча и прилегающих территорий в результате производственной деятельности ПО “Маяк”. В составе радиоактивных сбросов присутствовал остеотропный ^{90}Sr , который являясь долгоживущим изотопом, является причиной хронического облучения красного костного мозга (ККМ). При дозиметрическом моделировании для перехода от концентрации радионуклида (Бк/г) в ткани источнике к дозе на красный костный мозг (Гр/с) используются дозовые коэффициенты (DF).

Целью исследования является оценка DFs для красного костного мозга, от ^{90}Sr инкорпорированного в трабекулярной кости (DF (AM $\leftarrow$ TBV)) и в кортикальной кости DF (AM $\leftarrow$ CBV) для взрослых мужчин и женщин.

ККМ в скелете взрослого человека в основном содержится в следующих участках (гемопозитических сайтах): кости черепа, шейные, грудные и поясничные позвонки, грудина, кости таза, крестец, проксимальные части бедренной и плечевой кости, лопатка, ключица, рёбра.

Материалы и методы. DF рассчитываются с помощью имитации транспорта электронов и вторичных фотонов в костях методом Монте-Карло в программе MCNP 6.1. Для этого используются геометрические модели костных сегментов в воксельном представлении. Костные сегменты - фрагменты гемопозитических сайтов, описываемые простыми геометрическими фигурами. Геометрические параметры этих фигур были получены на основе морфометрической информации, широко представленной в литературе. Микроструктура моделировалась с помощью рандомного генератора “Трабекула” на основе гистоморфометрических параметров. Оценивались как средние значения параметров моделей, так и их неопределённость, обусловленная индивидуальной вариабельностью геометрии кости человека. Используя MCNP6.1, рассчитывались поглощенные энергии в костном мозге на единичный распад $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ инкорпорированных в кортикальной либо трабекулярной кости. Учитывая массу ткани-детектора и массу ткани –источника, рассчитывали дозовые коэффициенты. DF для всего скелета рассчитывался как средневзвешенное значение дозовых коэффициентов для основных гемопозитических сайтов. Взвешивающие коэффициенты были взяты в соответствии с объёмом ККМ в отдельных гемопозитических сайтах.

Результаты. Дозовые коэффициенты для мужчин равны: DF (AM $\leftarrow$ TBV) = $4,2 \cdot 10^{-11}$ Гр/с на Бк/г, DF (AM $\leftarrow$ CBV) = $1,65 \cdot 10^{-11}$ Гр/с на Бк/г. Для женщин DFs составили: DF (AM $\leftarrow$ TBV) = $4,0 \cdot 10^{-11}$ Гр/с на Бк/г и DF (AM $\leftarrow$ CBV) = $1,8 \cdot 10^{-11}$ Гр/с на Бк/г.

Выводы. Половые различия дозовых коэффициентов не превышают 11%. Результаты, полученные в рамках настоящего исследования, будут использованы для расчёта доз на ККМ у жителей загрязнённых территорий Уральского региона.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ В ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РЕКИ ТЕЧИ

Е.А. Шишкина^{1,2}, М.О. Дегтева¹, В.А. Напье³

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

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
sharagin@urcrm.ru

³ Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, USA

В середине XX века в результате производственной деятельности ПО “Маяк” обширные территории Уральского региона подверглись радиоактивному загрязнению. Основным источником загрязнения окружающей среды был сброс около 1×10^{17} Бк жидких отходов в реку Теча (1949–1956 гг). Около 30 000 человек, проживавших ниже по течению от места сбросов, подверглись хроническому внутреннему и пролонгированному внешнему воздействиям. В составе радионуклидов, попавших в пищевые цепочки людей, был долгоживущий остеотропный ^{90}Sr . Это привело к неравномерному облучению организма и высоким дозовым нагрузкам на красный костный мозг (ККМ). Многие из этих людей дополнительно подверглись внешнему и внутреннему облучению вследствие взрыва хранилища радиоактивных отходов в 1957 году, который образовал Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Многолетнее прослеживание заболеваемости и смертности облученных позволило сформировать Когорту Реки Течи. Оценка индивидуальных доз осуществляется в дозиметрической системе реки Течи (TRDS2016), основанной на комплексе данных измерений, санитарно-гигиенической информации о привычках и режимах поведения и математическом моделировании. Надежность выводов о радиационных рисках, получаемая в рамках эпидемиологических исследований когорты зависит как от количества и качества данных о заболеваемости и смертности, так и от неопределенностей доз TRDS2016.

Целью работы была оценка неопределенностей индивидуальных доз внешнего и внутреннего облучения у облучавшихся как в результате проживания на р. Тече, так и на ВУРСе.

Методы. Для оценки неопределенностей TRDS2016 была осуществлена множественная реализация вариантов расчетов на основе базовых уравнений системы с варьирующими параметрами (Монте-Карло моделирование). Выполнен статистический анализ параметров индивидуальных распределений (среднее, коэффициент вариации (CV), медиана и квантили, среднегеометрическое (GSD) и геометрическое отклонение, 5-95%) и описание типа распределения путем наилучшей подгонки (тест Колмогорова-Смирнова).

Результаты. Вероятностные распределения возможных значений индивидуальных доз имеют ассиметричный характер и хорошо описываются логнормальной формой независимо от сценария облучения. В среднем неопределенность оценок суммарных доз, характеризуемая средней шириной этих распределений, соответствует $\text{GSD}=2.9$ ($\text{CV}\sim 140\%$).

Заключение. Полученные результаты будут использованы для оценки доверительных интервалов коэффициентов относительного избыточного радиационного риска заболеваемости и смертности от лейкозов и солидных опухолей.

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В ХОДЕ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.А. Шуршаков, О.А. Иванова, К.О. Иноземцев, А.Э. Лишневский, Р.В. Толочек

ГНЦ РФ – ИМБП РАН, Москва, Россия

shurshakov@imbp.ru

В ходе космических полетов живые системы непрерывно подвергаются радиационному облучению с мощностью дозы, в сотни раз превышающей естественный наземный фон. Доза облучения зависит от длительности полета, параметров орбиты, фазы цикла солнечной активности, факторов космической погоды таких, как геомагнитная обстановка и проникновение на трассу полета заряженных частиц высокой энергии, обусловленных солнечной активностью, а также от условий защищенности оболочкой космического аппарата или скафандром. В докладе рассмотрены ключевые аспекты радиационного воздействия на живые системы в космосе, включая мониторинг и защиту.

Целью радиационного мониторинга при пилотируемых космических полетах является определение биологических значимых характеристик космического ионизирующего излучения и прогноз динамики из поведения на предстоящие сутки и более отдаленный период.

Материалы и методы. Современные штатные средства радиационного мониторинга, используемые российскими специалистами на МКС, позволяют оперативно получать данные о динамике радиационных нагрузок одновременно в нескольких отсеках Служебного модуля (полупроводниковые детекторы), а также индивидуальную дозу, измеренную на поверхности тела космонавта (термолюминесцентные детекторы). В процессе измерения и после завершения полета по данным штатных средств доступны только поглощенные дозы космонавтов, не учитывающие сложный состав космической радиации. Для сопоставления с нормативами необходимо измерять дозы на критические органы – желудочно-кишечный тракт, кроветворную систему, центральную нервную систему и т.п. для чего и используются тканеэквивалентные фантомы-манекены, типа фантома «Рэндо» или шарового фантома, как в российском космическом эксперименте «Матрешка-Р».

Экспериментальные исследования выполнены в период с 2004 по 2020 гг в различных модулях российского и американского сегментов МКС.

Результаты. Установлено, что при спокойной радиационной обстановке, когда нет солнечных частиц высокой энергии, различие дозовых нагрузок в отсеках не превышает полутора-двух раз, однако при радиационных возмущениях в околоземном пространстве перепады доз по отсекам могут достигнуть десяти и более раз, что связано с энергетическими спектрами частиц и особенностями защищенности отсеков. Перепад доз по поверхности тела космонавта в каюте достигает двух раз.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что использование шарового тканеэквивалентного фантома перспективно при измерении динамики накопления дозы в теле космонавта в спокойных и возмущенных условиях, а использование комбинированного набора пассивных детекторов позволяет получать эквивалентную дозу для характерных глубин нахождения критических органов в теле человека.

СЕКЦИЯ №11

РАДИОБИОЛОГИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НА ГЕНЕРАЦИЮ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА ПРИ ЛАЗЕРНОМ ПРОБОЕ

И.В. Баймлер^{1,2}, А.В. Симакин¹, С.В. Гудков^{1,2}

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская обл., Россия
ilyabaymлер@yandex.ru

Облучение водных растворов лазерным излучением достаточно высокой мощности может приводить к формированию плазмы в растворе, т.е. к лазерному пробое. Добавление наночастиц металлов в раствор приводит к более интенсивному формированию плазмы. Известно, что лазерный пробой водных растворов наночастиц представляет собой комплексное явление, сопровождающееся образованием плазмы, диссоциацией молекул воды, генерацией различных продуктов диссоциации, акустическими и световыми сигналами. Всестороннее изучение процессов, сопровождающих лазерный пробой представляет собой актуальное направление в изучении явления лазерного пробоя в жидкостях.

Целью данного исследования является комплексное и разностороннее изучение влияния концентрации наночастиц Ni на процессы, происходящие при лазерном пробое коллоидных растворов. В их число входит генерация продуктов диссоциации молекул воды – молекулярных водорода и кислорода, перекиси водорода и короткоживущих гидроксильных радикалов, процессы генерации акустических и ударных волн, процессы формирования плазменных вспышек при лазерном пробое водных растворов наночастиц.

Материалы и методы. При проведении экспериментов по исследованию влияния концентрации наночастиц Ni на процессы, сопровождающие лазерный пробой, использовались: Источник лазерного излучения - Nd:YAG лазер ($\lambda = 1064$ нм, $\tau = 10$ нс, $\nu = 10$ Гц, $E_p = 650$ мДж, $J = 65$ Дж/см²), гальвано-оптическая система линз и зеркал для фокусировки и перемещения излучения, экспериментальная кювета, заполненная водным раствором наночастиц Ni, пьезопленки из поливинилиденфторида (PVDF) для регистрации акустических сигналов, портативные анализаторы кислорода и водорода с амперометрическими датчиками для регистрации концентрации молекулярных водорода и кислорода в кювете, спектрофлуориметр и хемилуминометр для измерения концентрации перекиси водорода и гидроксильных радикалов, цифровая камера Canon 75D с системой оптических фильтров для регистрации изображений плазмы пробоя.

Результаты. Экспериментально установлен вид зависимости скоростей генерации H_2O_2 , $\cdot OH$, H_2O_2 от концентрации наночастиц Ni. Показано, как меняются оптические параметры плазмы – число пробоев, яркость вспышек, среднее расстояние между пробоями и средний размер пробоя от времени облучения и концентрации наночастиц Ni. Изучен процесс формирования ударных волн при лазерном пробое, исследованы зависимости интегральных характеристик акустических сигналов от времени облучения и концентрации наночастиц.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что между процессами генерации продуктов диссоциации молекул воды, акустическими сигналами и светимостью плазменных вспышек существует корреляционная зависимость, свидетельствующая о взаимосвязи вышеперечисленных процессов.

Работа поддержана грантом Российского Фонда Фундаментальных Исследований (19-02-00061)

СИСТЕМА, МИНИМИЗИРУЮЩАЯ ИЗЛУЧЕНИЕ СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА

А.Н. Баранов

Индивидуальный предприниматель, Москва, Россия
89261624309@mail.ru

Электромагнитное поле (ЭМП) радиочастотного диапазона, используемое мобильными телефонами и смартфонами, является вредным фактором. Санитарные правила и нормы содержат пункт рекомендующий ограничить возможность использования сотового телефона (СТ) лицами не достигшими 18 лет, женщинами в период беременности, людьми, имеющими имплантированные водители ритмов. Остальным предписано максимально возможное сокращение времени использования СТ.

Целью было разработать устройство позволяющее обеспечить максимальную защиту от ЭМП СТ при сохранении привычного всем способа использования СТ.

Материалы и методы. В современных сотовых сетях телефон излучает именно ту минимальную мощность, которая ему необходима для поддержания связи. При неизменном потоке электромагнитного излучения (ЭМИ), существует три способа защиты: временем, экранированием и расстоянием. Снижение выходной мощности передатчика телефона - единственный способ максимально безопасного использования СТ в привычном режиме. Однако сигналу для преодоления расстояния от аппарата до приемника базовой станции требуется мощность. Эту задачу удалось решить: снизить излучаемую мощность в сотни раз и при этом обеспечить связь.

Результатом стало создание системы позволяющей компенсировать затухание сигнала СТ. Это автоматически вызывает снижение выходной мощности передатчика СТ и степень облучения абонента. В ходе эксперимента в стандарте GSM1800, применение разработанной системы позволило добиться снижения выходной мощности СТ с 1000мВт до 1 мВт.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что применение разработанной системы позволяет сделать использование СТ максимально безопасным. У изобретения отсутствуют зарубежные аналоги, система имеет невысокую цену и готовится к серийному выпуску. Если будет предоставлена возможность, работа прототипа (серийного образца) будет продемонстрирована на Съезде.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

А.Л. Васин¹, Ю.Г. Григорьев², Н.И. Хорсева³

¹ ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

²ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия

³Институт биохимической физики им. Н.М Эмануэля РАН, Москва, Россия
vasinimbp@gmail.com

Рассмотрены условия воздействия электромагнитного излучения систем мобильной связи на население. Учитывая полученные научные результаты о неблагоприятном действии сотовой связи на организм, массово предлагаются различные защитные устройства, основанные на «нетрадиционных» методах защиты от электромагнитных полей радио частот. Как правило, действие таких устройств, по мнению их авторов, основаны на использовании новых не признанных физических факторов, считающиеся ими «ноу-хау». Предлагаемые авторами положительные результаты одиночных тестирований не были подтверждены в независимых лабораториях, как правило, не публиковались в профильных рецензируемых журналах, а сами методы не имеют аккредитацию или не запатентованы. Данная ситуация оценивается как опасная. Например, при продаже этих средств индивидуальной защиты в школах, авторы их рекламируют, как средство максимальной защиты школьников и, как следствие, возможность использования гаджетов детьми без ограничений, не соблюдая существующие рекомендации ГОСТа и СанПиН'ом 2003 года.

В 2002 г. Российским национальным комитетом по защите от неионизирующих излучений было сформулировано четкое мнение о возможности их использования. «Активная коммерческая реклама изделий «нетрадиционной» защиты с использованием псевдонаучной терминологии отвлекает ресурсы организаций в ущерб реальным мероприятиям по защите здоровья и охране труда работающих... РНКЗНИ считает, что использование средств защиты, основанных на указанных нетрадиционных методах и технологиях, недопустимо как населением, так и работающими в условиях воздействия неблагоприятных факторов».

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ 5G СОТОВОЙ СВЯЗИ И ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ (КОЖА КРИТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА)

*З. А. Воронцова*¹, *Ю. Г. Григорьев*²

¹ ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия

² ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Москва, Россия

z.vorontsova@mail.ru

В отличие от уже существующих беспроводных технологий 2G, 3G и 4G, где используются электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ), стандарт 5G работает с миллиметровыми волнами (ММВ) с одновременным распространением программы IoT (Internet of Things) – интернет связь между «вещами», как домашнего употребления, так и другими объектами, например на транспорте, на производстве. Для стабильной дополнительной доставки ММВ на всю территорию нашей планеты в настоящее время в космосе уже находятся более 800 спутников. ММВ легко экранируются зданиями, листвой деревьев. На расстояние ММВ влияют погодные условия – снег, дождь, туман. Учитывая это, под воздействием будет находиться кожа. Таким образом, при оценке опасности ММВ возникает новый критический орган – кожа.

Известно, что структурные и тканевые компоненты кожи находятся в согласованном взаимодействии напрямую или опосредовано, формирующие единую систему, воспринимающую на себе все внешние воздействия окружающей среды. Локальное поражение кожи – органа, характеризующегося полифункциональностью, индуцирует изменения во многих других органах и тканях, определяя системный подход при исследовании. Кожа имеет самую богатую иннервацию, причем не только чувствительную, но и эфферентную, представляя собой рецепторное поле и при запредельных экстремальных воздействиях на него могут возникать катастрофические последствия. На клетках Лангерганса эпидермиса замыкаются три регуляторные системы организма: нервная, эндокринная и иммунная, представляющие систему первичного реагирования, оповещения и защиты – регулирующую внешний обмен, барьерную функцию эпителиев и соединительной ткани организма, что обеспечивает внутреннюю настройку системы и возможность адаптивных изменений в ней, характеризуя пластичность ее компонентов. Кожа представляет большой интерес не только в связи с ее доступностью для биопсии, но и диагностической информативностью в прогнозировании состояний на уровне организма, которые предопределяет самая многочисленная тучноклеточная популяция, позволяющая получить данные о наличии зависимости между их индивидуальными свойствами в дерме кожи при воздействии ММВ по индексу реактивности и оценить нарушение гомеостаза, определив алгоритм поражения и защиты.

Таким образом, кожа является важным критическим органом при оценке опасности для населения постоянного пожизненного воздействия ММВ.

ТУЧНЫЕ КЛЕТКИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ТОЩЕЙ КИШКИ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

З.А. Воронцова, С.Н. Золотарева, Е.Е. Иванова

ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, Воронеж, Россия

zol2009sn@yandex.ru

К актуальным проблемам современной радиобиологии и космической медицины относится исследование местных регуляторных систем организма и их роли в поддержании гомеостатического равновесия в условиях неионизирующих излучений в штатном режиме и чрезвычайных ситуациях. К одной из таких систем относятся динамичная популяция тучных клеток (ТК) соединительнотканного компонента слизистой оболочки тощей кишки. Это полифункциональные клетки, принимающие участие, как в запуске адаптивных реакций, так и развитии патологических процесса, эквивалентно преобладанию биологически активных веществ выделяемых ими.

Цель исследования состоит в изучении динамических изменений тучноклеточной популяции соединительнотканной стромы слизистой оболочки тощей кишки при воздействии электромагнитного излучения СВЧ – диапазона (ЭМИ).

Материалы и методы. Материалом для исследования стали фрагменты тощей кишки, взятых от 48 лабораторных половозрелых крыс-самцов в возрасте 4 мес. Экспериментальная группа крыс подвергалась воздействию ЭМИ на установке «Хазар 2,5Р», с частотой 2,4ГГц и ППМ 10 мВт/см², на протяжении 2,5 мин. Временные параметры эксперимента составили 1,7; 5; 24; 72 часа после воздействия фактора. Общее число тучных клеток и перераспределение их морфофункциональных форм в межкрипальной соединительнотканной строме изучали на стандартных, продольных парафиновых срезах при окраске основным коричневым по Шубичу с докраской гематоксилином.

Результаты. У крыс контрольной группы общее число тучных клеток (ОЧТК) межкрипальной стромы слизистой оболочки тощей кишки составило $31,8 \pm 4,17$. Распределение морфофункциональных типов ТК в процентном соотношении у контрольной группы было следующее: дегранулированные (Дг) 62%, вакуолизированные (Вк) 12% и недегранулированные (НДг) 23%, что свидетельствовало о преобладании активных форм и поддержании гомеостатического равновесия на местном уровне. У крыс экспериментальной группы было выявлено достоверное снижение общего числа тучных клеток во временной динамике эксперимента – $11,4 \pm 1,67$; $12,2 \pm 2,05$; $9,9 \pm 1,04$ и $8,1 \pm 0,39$ спустя 1,7; 5; 24 и 72 часа соответственно. Здесь же необходимо отметить перераспределение локализации ТК, формировавших скопления вокруг капилляров и в субэпителиальной зоне, тогда как у контрольных крыс ТК распределялись равномерно по всей соединительнотканной строме. Среди морфофункциональных типов ТК спустя 1,7 часа выявлено повышение количества активных форм ($p < 0,05$) Вк – 22% и Дг – 67% и снижение НДг – 11%. Начиная с 5 часа НДг ТК повышались ($p < 0,05$) и составляли в среднем 39% от ОЧТК. Дг ТК проявляли тенденцию к снижению ($p < 0,05$), с большей выраженностью к концу третьих суток (37%). Количество Вк ТК снижалось ($p < 0,05$) спустя 5 часов (8%) и одни сутки (10%), а концу третьих суток незначительно превышало контроль (18%).

Выводы. Воздействие электромагнитного излучения СВЧ - диапазона вызывало достоверные изменения в популяции тучных клеток слизистой оболочки тощей кишки, проявляющиеся снижением количества активных форм и разобщением их соотношения в сторону нарушения реализации компенсаторно-приспособительных механизмов на местном уровне.

ДЕЙСТВИЕ СЛАБОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КЗАРМ «ЗЕЛЕННЫЕ ВОЛНЫ®» НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА СРЕДНЕКИСЛЫХ И НЕЙТРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ

В.П.Герасименя^{1,2}, С.В.Захаров^{1,2}

¹ООО «Инбиофарм», Москва, Россия,

² Федеральный исследовательский центр химической физики
им. Н.Н.Семенова РАН, Москва, Россия,
gerasimenia_v_p@mail.ru

Одной из актуальных проблем биологической науки является поиск новых технологий целенаправленного воздействия неионизирующего слабого электромагнитного излучения (ЭМИ) на животные и растительные организмы. Учеными ООО «Инбиофарм» в сотрудничестве с ФИЦ ХФ РАН разработано и зарегистрировано инновационное оборудование «Комплект защиты и активации роста сельскохозяйственных культур малогабаритный (КЗАРМ) «Зеленые Волны®» (патенты РФ № 2169458 и 2201665) и показано его положительное влияние на физиологические характеристики высших растений.

Целью данного исследования является изучение действия неионизирующего слабого ЭМИ, генерируемого КЗАРМ «Зеленые волны®», на регенерацию рН почвы, оказывающей влияние на физиологические характеристики высших растений, произрастающих на среднекислых и нейтральных почвах.

Материалы и методы. Семена и проростки ячменя сорт «Эло» (*Hordeum vulgare* L.) и салата Московский (*Lactuca sativa* L.). Оценку влияния промышленной частоты слабого ЭМИ на семена и проростки растений проводили в условиях лабораторного опыта. Семена в количестве 100 шт раскладывали в почву различной кислотности: среднекислая, рН-4,9 и нейтральная, рН-6,7). Почвенную культуру ставили под постоянное воздействие ЭМИ в течение 18 суток при освещении 6000 лк в дневное время с 10 ч до 20 ч и $T_{\text{в}}=22^{\circ}\text{C}$. Кислотность почвы (рН) определяли в 1, 5, 7, 11, 15 и 18 сутки. Влияние ЭМИ на интенсивность роста растений оценивали по величине сырой массы, длине корня и длине побега. Контролем служила почвенная культура, выращиваемая без воздействия ЭМИ в аналогичных лабораторных условиях. Полученные результаты обрабатывали статистически в программе СТАТИСТИКА 5.5.

Результаты. Применение КЗАРМ «Зеленые волны®» позволяет увеличить прирост биомассы салата на 30%, по сравнению с контролем при расширении нижней границы рН почвы на 28% при его выращивании от стандартной нейтральной почвы с рН= 6,0-6,5, расширяя диапазон режима культивирования салата за счет снижения кислотности среднекислой почвы за 18 суток наблюдения на 21%, с рН= 4,75 до рН= 5,74 и переводя ее по существующей классификации в слабокислую почву. Среднекислая почва раскисляется и становится слабокислой. При выращивании ячменя на среднекислой почве в условиях полевого воздействия ЭМИ прирост биомассы ячменя увеличивается до 20% по сравнению с контролем при расширении нижней границы рН почвы при выращивании ячменя на 45% от стандартной щелочной почвы с рН= 6,8-7,5.

Выводы. Характерным показателем эффективности полевого воздействия неионизированного слабого ЭМИ КЗАРМ «Зеленые волны®» на среду при выращивании растений на среднекислой почве является расширение нижней границы рН почвы, при которой происходит раскисление среднекислой почвы в слабокислую почву, приводящую к значительному увеличению: прироста биомассы проростков, динамики роста побега проростков, роста корня проростков.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ В МОДИФИКАЦИИ ДЕЙСТВИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОЖУ

С.В. Гончаров¹, А.Е. Козлов¹, М.В. Матвеев¹, О.М. Храмченкова²

¹Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь
combinexpo@gmail.com

В профилактике негативных эффектов УФ-облучения солнцезащитными средствами особое внимание уделяется препаратам на основе растительных экстрактов, содержащих различные антиоксиданты, за их доказанную эффективность и минимум побочных эффектов. В этом плане заслуживают внимание лишайники – более 800 их биоактивных вторичных метаболитов проявили широкий спектр положительного действия (антиоксидантного, антибактериального, противоопухолевого и др.) и позволили рассматривать лишайники в качестве потенциального источника фотопротекторов.

Цель данного исследования состояла в отборе эффективных фотозащитных лишайниковых веществ на основе оценки их фотопоглощающей способности и морфофункциональных свойств кожи и про- и антиоксидантных процессов в крови.

Материалы и методы. В серии экспериментов на мышах линии Af (♂♀ 2,5-3 мес.) изучали фотозащитные свойства сухих экстрактов из 5 распространенных в Беларуси видов лишайников *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Ramalina pollinaria*, *Cladonia arbuscula*, *Evernia prunastri*, приготовленных на ацетоне и этаноле, а также на гексан-ацетоне (*H. physodes*) и бензоле (*X. parietina*). Для этого на участок кожи спины (через 72ч после депиляции) наносили 5%-ные растворы экстрактов в диметилсульфоксиде (ДМСО) либо рафинированном оливковом масле (также наносили масло либо ДМСО группе сравнения) и спустя 30 мин облучали УФ-источником в течение 30 мин (энергетический максимум 315 нм, расчётная интегральная мощность (280-450 нм) светового потока 1446 мкВт/см², УФ-Б / УФ-А = 40/60 %). Измеряли спектры поглощения 1%-ных растворов экстрактов в ДМСО.

Результаты. Ацетоновые и этанольные экстракты данных видов лишайников абсорбируют УФ в диапазоне 250-400 нм, обладающем наибольшей эритемной активностью. В опытах на ДМСО по прооксидантным параметрам сыворотки крови (прооксидантная емкость, конечные продукты окисления белков) на 4-е сутки после облучения эффективность имели почти все экстракты; по антиоксидантным параметрам (протеиновые SH-группы, глутатионпероксидаза) были эффективны ацетоновые экстракты *R. pollinaria*, *E. prunastri*, *H. physodes* и *X. parietina*. В целом, все экстракты по тем или иным параметрам крови проявляли положительную тенденцию.

По состоянию кожи наибольшим фотозащитным эффектом обладали ацетоновые экстракты *R. pollinaria*, *E. prunastri* и *H. physodes*. Несколько менее эффективен был бензольный экстракт *X. parietina*. При этом практически отсутствовал ожоговый струп, значительно снижались эритема, отеки и воспаленность кожи.

Облучение на фоне масла (в отличие от ДМСО) вызывает принципиально другую ожоговую картину кожи. При этом относительно заметная защита с маслом отмечена для ацетоновых экстрактов *E. prunastri*, *R. pollinaria* и *H. physodes*. В меньшей степени это проявлялось для этанольного и гексан-ацетонового экстрактов *H. physodes*.

Выводы. При наружном применении по совокупности биохимических параметров крови и морфометрических параметров кожи наилучшие фотозащитные свойства показали ацетоновые экстракты *R. pollinaria*, *E. prunastri* и *H. physodes* как в опытах с ДМСО, так и с оливковым маслом. Поэтому на данный момент их можно считать перспективными фотопротекторами при составлении солнцезащитных композиций.

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕДЕСТРУКТИВНОЙ ПЛАЗМЫ

Горбатов С.А., Иванов И.А., Тихонов А.В., Тихонов В.Н., Шестериков А.Ю.
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия

Недеструктивная плазма атмосферного давления (АНДП) обладает температурой близкой к комнатной, тем не менее, она может окислять различные микроорганизмы и разрушать не только их оболочки, но и ДНК вирусов и бактерий. Это дает возможность использовать активные факторы и компоненты АНДП для осуществления воздействия (например, с целью стерилизации) на такие теплочувствительные материалы как полимеры и биологические ткани, в том числе *in vivo*.

Целью данной работы является презентация стационарного малобюджетного микроволнового источника АНДП, предназначенного для проведения исследований и работ в области биологии, медицины и экологии.

Материалы и методы. АНДП может быть получена с помощью коронного, поверхностного и тлеющего атмосферных разрядов, а также диэлектрического барьерного. В последние годы также возрастает интерес к использованию сверхвысокочастотных (СВЧ) генераторов в качестве источников энергии для получения низкотемпературной и недеструктивной плазмы. В частности, германо-японская фирма Adtec Europe Ltd производит установки MicroPlaSter, сертифицированные для клинического применения, в которых для получения АНДП использован многоэлектродный СВЧ разряд в потоке аргона.

Мы предлагаем использовать в качестве источника АНДП электродный СВЧ разрядник коаксиальной конфигурации. Основу его составляет резонансный отрезок жесткого коаксиального фидера, запитываемый от прямоугольного волновода. Центральный проводник коаксиала проходит сквозь волновод посередине его широких стенок перпендикулярно к ним. Один из выступающих концов коаксиала замкнут накоротко, на втором обеспечены условия холостого хода. По оси центрального проводника со стороны холостого хода выполнены радиальные пропилены резонансной длины. Подача рабочего газа (аргона) в зону разряда на разомкнутом конце коаксиала осуществляется по центральному проводнику, выполненному в виде полый трубки.

В результате проведенных испытаний было установлено, что при соответствующей настройке параметров электромагнитной системы установки разряд происходит самостоятельно и устойчиво поддерживается в течение длительного времени. Для снижения температуры исходящей плазменной струи в случае продолжительной работы предусмотрено принудительное водяное охлаждение внешнего наконечника разрядника.

Таким образом, сотрудниками ВНИИРАЭ предложена, разработана и построена установка для генерации АНДП, которая будет использоваться при проведении экспериментов, в том числе по стерилизации различных поверхностей и порошков.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ № 20-08-00894.

ПЛАНЕТАРНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ИСТОЧНИКОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ И ВОЗМОЖНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ (Мнение отечественного радиобиолога)

Ю.Г.Григорьев

ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,
Российская комиссия по защите от неионизирующей радиации, Москва, Россия

Напряженность ЭМП в среде обитания человека возросла более 1000 раз. С точки зрения эволюции этот рост можно рассматривать как мгновенный скачок со сложно предсказуемыми медицинскими и биологическими последствиями.

Электромагнитные поля радиочастот (ЭМП РЧ) относятся к вредным видам излучения и, как следствие, обязательно должны быть обоснованные санитарные стандарты. Однако ВОЗ за 30 лет не гармонизировала стандарты ЭМП РЧ. Они отличаются в разных странах более чем на пять порядков от 0,005 до 1000 мкВт/см². В течение последних двух лет начал активно использоваться 5G стандарт с использованием ЭМП миллиметрового диапазона, не имея ПДУ. Происходит ежедневное тотальное облучение ЭМП населения на всей планете, включая 5G стандарт, в отсутствии согласованных единых стандартов, что можно характеризовать, как аморальное ожидание возможного развития отдаленных последствий.

Не находят признания со стороны большинства международных научных организаций (ВОЗ, ICNIRP, IEEE, FCC US и др.) решения об опасности развитие опухолей мозга при использовании сотовой связи (СС). Не оцениваются Решение IARC, что ЭМП СС могут являться промоторами развития рака мозга (2011). Оспариваются положительные результаты эпидемиологических наблюдений ряда стран (Швеция, США, Великобритания, Финляндия), и уникальные результаты двух классических хронических экспериментов, проведенных в США и Италии (стоимость экспериментов соответственно 300 млн. \$ и 50 млн. Евро), где показана возможность развития опухолей мозга под влиянием ЭМП РЧ при допустимых интенсивностях.

В качестве критерия оценки опасности ЭМП РЧ для населения имеют значимость дети, которые впервые за весь период цивилизации подвергают свой головной мозг ЭМП, являются уязвимы к физическим факторам внешней среды (Бюл. ВОЗ, 2003). За рубежом проводятся исследования с помощью дистанционного опроса, либо эпизодические кратковременные наблюдения. Единственные психофизиологические исследования школьников – пользователей мобильных телефонов и др. гаджетов проводятся в России уже в течение 14 лет (Хорсева Н. И., Григорьев Ю.Г.). Были отмечены статистически значимые ухудшения показателей сенсомоторных реакций, работоспособности, повышенная утомляемость, нарушения когнитивных функций у школьников.

Имеется достаточно результатов соматических и генетических исследований в основном при кратковременном воздействии ЭМП РЧ, частично проанализированных и заслуживающих рассмотрения. Продвижению мер по безопасному использованию СС препятствует наличие финансового лобби промышленности, пропагандирующее концепцию о полной безопасности ЭМП СС, что тормозит исследования по проблеме и переводит её в русло постоянных дискуссий, уже более 25 лет.

Использование СС важно, полезно, удобно и логично поддерживается населением. По нашему мнению, в этой ситуации мерами снижения ЭМ нагрузки на население являются: а) полная информация населения о возможно опасности ЭМП; б) создание у населения доминанты «персонального риска».

5G СТАНДАРТ СОТОВОЙ СВЯЗИ – РЕАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

[Ю.Г. Григорьев¹, Г.В. Козьмин², Е.И. Сарапульцева³, Ю.С. Романко⁴

¹Федеральный медико-биофизический центр им. А.И. Бурназяна

Российская комиссия по защите от неионизирующего излучения, Москва, Россия

²ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

³Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Обнинск, Россия

⁴Первый Московский государственный медицинский университет, Москва, Россия
helen-bio@yandex.ru

Современная среда обитания человека и живых организмов характеризуется стремительно растущим электромагнитным фоном, который может оказывать негативное воздействие на человека и биоту. В настоящее время реально возникла проблема экологической безопасности в связи с внедрением в систему сотовой связи 5G стандарта с использованием миллиметровых волн (ММВ) электромагнитного диапазона. Для обеспечения глобальной связи на всей планете в марте 2018 года Федеральная комиссия по связи США (FCC US) утвердила план о запуске 4425 спутников. Фактически население планеты и её природная среда будут постоянно находиться под влиянием ММВ.

Цель работы состояла в оценке потенциальной экологической опасности электромагнитного воздействия генерирующих систем 5G технологии сотовой связи на природные и аграрные экологические системы.

Материалы и методы. Исходными данными явились собственные результаты, а также опубликованные материалы отечественных и зарубежных авторов в области радиобиологии неионизирующих излучений.

Результаты. Введение новых источников ММВ, работающих параллельно с уже существующими мобильными технологиями 2G / 3G / 4G, создает принципиально новую электромагнитную среду обитания человека и живых организмов, существенно отличающуюся от электромагнитной среды, сопутствующей эволюции биосферы на протяжении многих миллионов лет. К настоящему времени сформировалось представление об энергетической и биоинформационной роли электромагнитных излучений различных спектральных диапазонов в функционировании природных экосистем (Гурвич, 1945, Пресман, 1968, Рорр, 1979, , Казначеев, Михайлова, 1985, Григорьев, 2000, 2019, Козьмин, Гераськин, Санжарова, 2015, Сарапульцева, 2018 и др.). Особенности взаимодействия ММВ с биологической тканью живых организмов заключаются в формировании резонансных эффектов на молекулярно-клеточном уровне (Frohlich, 1980, Девятков, Голант, 1985, Бецкий, 1999 и др.), вызывающих изменения структуры РНК и ДНК, нарушение транспортных функций мембраны клеток и др. эффекты. С учётом низкой проникающей способности ММВ к потенциально уязвимым биологическим объектам следует отнести возбудителей болезней растений, насекомых, животных и человека; растения в фазе цветения (действие на пыльцу, она же - кормовая база для пчёл, шмелей и других насекомых); сами насекомые; фитопланктон пресноводных экосистем, а также потребляющих его простейшие организмы. Последствия воздействия ММВ на биоту и урожайность сельскохозяйственных культур практически не изучены.

Выводы. Необходимо акцентирование международных и государственных программ на исследования последствий воздействия ММВ на потенциально уязвимые (референтные) организмы природных и аграрных экосистем с практическим выходом на разработку методов биомониторинга и экологическое нормирование.

ЭФФЕКТ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 525 НМ НА КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА И ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ МЫШЕЙ *IN VIVO*

А.Р. Дюкина¹, С.И. Заичкина¹, О.М. Розанова¹, С.С. Сорокина¹, Е.Н. Смирнова¹,
Д.П. Ларюшкин¹, Н.В. Минаев², В.И. Юсупов², М.М. Поцелуева¹

¹ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино
Московской области, Россия

² Институт фотонных технологий ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Троицк,
Россия

dyukina@rambler.ru

В настоящее время фемтосекундные (ФС) лазеры являются наиболее перспективными в таких областях как физика, биология, медицина и другие прикладные сферы. Характерными чертами ФС лазеров являются малая длительность и высокая средняя интенсивность импульса. Имеющиеся в литературе результаты по исследованию биологических реакций и их последствий у животных, облучённых ФС лазером, трудно сопоставимы между собой в связи с использованием разных объектов, мощностей и доз облучения, а также особенностями конструкции самих источников излучения. Поэтому необходимы комплексные исследования на животных *in vivo* с использованием нескольких методов и широким диапазоном условий облучения для понимания закономерностей действия ФС лазера на живые системы не только при больших мощностях и дозах, но и при низкоинтенсивном воздействии и гипермалых дозах.

Целью исследования было изучение действия низкоинтенсивного импульсного ФС лазерного излучения на клетки цельной крови и костного мозга мышей *in vivo*.

Материалы и методы. Эксперименты проводили на самцах мышей линии SHK, на каждую точку использовали не менее 5. Животных облучали в область носа ФС лазером (АВЕСТА, РФ) (525 нм, 200 фс, 70 МГц) при мощностях 0.05, 0.5 и 5 мВт, и экспозиции от 1 до 50 с, что соответствует дозам излучения 0.1 – 52 мДж/см². В качестве положительного контроля животные были облучены рентгеновским излучением (РИ) в дозе 0.1 Гр (РУТ, г. Пущино). Через сутки все группы животных дополнительно облучали РИ в дозе 1.5 Гр по схеме адаптивного ответа и через 28 ч после этого определяли уровень цитогенетических повреждений в костном мозге с помощью микроядерного теста, и проводили гематологический анализ крови на анализаторе Beckman Coulter Ас*Т. Оценивали воздействие облучения на концентрацию лейкоцитов, эритроцитов, гемоглобина, гематокрита и тромбоцитов в цельной крови.

Результаты. Обнаружено, что при всех исследованных дозах ФС лазера клеточный состав крови и уровень цитогенетических повреждений в клетках костного мозга не отличались от спонтанного фона. Предварительная обработка животных ФС лазером в дозах 3 мДж/см² (0.05 мВт), 10.4 и 31 мДж/см² (0.5 мВт) и 10 мДж/см² (5 мВт) и последующим воздействием РИ в дозе 1.5 Гр приводила к уменьшению количества цитогенетических повреждений в клетках костного мозга, т.е. индуцировала адаптивный ответ только при дозах, энергия которых соответствовала энергии адаптирующей дозы РИ (4-20 мДж/см²). Обнаружено также изменение клеточного состава крови в зависимости от дозы и мощности излучения.

Выводы. При воздействии гипернизких доз ФС лазера на мышей наблюдается адаптивный ответ в том же диапазоне энергий, как и при воздействии рентгеновским излучением.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, МОДУЛИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ В ДИАПАЗОНЕ РИТМОВ ЭЭГ

С.Н. Лукьянова

ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА РОССИИ, Москва, Россия

Настоящее исследование относится к вопросу о нейроэффектах слабых ЭМП, модулированных в диапазоне ритмов ЭЭГ. Цель работы сводилась к сопоставлению соответствующих реакций, используя различные способы модуляции.

В экспериментах на кроликах и исследованиях с участием испытуемых – добровольцев сравнивали эффективность способов модуляции, формируемых в результате режимов: меандр; обратная связь от волн ЭЭГ непосредственно облучаемого (синхронно) или другого (используя запись ЭЭГ, не синхронно) объектов; плавное изменение частот (сви́пирование) в пределах избранного диапазона. Через всю работу проходит ЭМП 1ГГц, плотность потока энергии (ППЭ) в импульсе – 200мкВт/см², длительность импульса – 20мс. Режимы различались: частотой следования импульсов, способом их предъявления и ППЭ в среднем.

Обосновано, что в основе усиления мощности ЭЭГ диапазона, соответствующего частоте модуляции ЭМП, лежит механизм навязывания ритмов, как и в случае известных стимулов (свет, звук и др.). В отличие от указанных раздражителей, ЭМП может быстрее и более интенсивно привести к желаемому результату. Наиболее эффективными были способы модуляции в виде синхронной обратной связи от волн ЭЭГ и режим сви́пирования частот в пределах избранного диапазона. В данном случае величина усиления диапазона, соответствующего модуляции, составляла 15÷30%, что могло наблюдаться в 60-80% случаев и находить отражение в других показателях состояния организма (ЧД, ЧП, ЭМГ). Эти результаты статистически значимо отличались от фона, но не выходили за пределы характеристик нормы. Эксперименты на кроликах и исследования с участием испытуемых-добровольцев показали однозначные результаты. В обоих случаях, с практической точки зрения наибольшего внимания заслуживает режим модуляции ЭМП в виде сви́пирования (плавного изменения) частот в избранном диапазоне ЭЭГ.

Совокупность материала исследования дополняет соответствующие данные литературы, представляя (ранее не описанную) сравнительную характеристику эффективности различных способов модуляции ЭМП частотами ЭЭГ. Эти данные могут быть учтены при формировании новых режимов модуляции слабых электромагнитных воздействий, применяемых в современной физиотерапевтической практике.

МОДИФИКАЦИЯ ЦИТОТОКСИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТАМИ ИЗ ДВУХ ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ В ОТНОШЕНИИ КЕРАТИНОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА (НАСаТ)

М.В. Матвеенков

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь
matvey.matveenkov@mail.ru

Поиск и разработка новых солнцезащитных соединений, а также их композиций, составляет важнейшую часть в общей стратегии снижения последствий избыточной инсоляции. Все большее внимание исследователей привлекает возможность использования соединений и их комплексов, обладающих способностью снижать поглощенные дозы ультрафиолетового излучения, совместно с эндогенными защитными эффектами (ингибирование воспалительных процессов и активности металлопротеиназ, модификация систем репарации ДНК, антиокислительные эффекты и многие другие). В данном свете весьма перспективны вторичные лишайниковые метаболиты. Обладая широким спектром биологических активностей, данные вещества также показали способность эффективно снижать поступающие на кожу дозы УФ и ослаблять его токсическое действие в моделях клеточных культур. Таким образом, представляется актуальным широкий скрининг фотопротекторных свойств вторичных метаболитов лишайникового происхождения.

Цель данного исследования: количественная оценка модификации этанольными экстрактами из *Ramalina pollinaria* и *Cladonia arbuscula* цитотоксических эффектов ультрафиолетового облучения в отношении культуры кератиноцитов человека (НАСаТ).

Материалы и методы. Отобранные в лесах Гомельского лесхоза образцы лишайника высушивались до воздушно-сухого состояния и экстрагировались в аппарате Сокслета. Для оценки цитотоксического эффекта использовали стабильную линию кератиноцитов НАСаТ. Цитотоксический эффект определяли по изменению метаболической активности клеточных популяций, при внесении экстрактов в питательную среду с помощью МТТ-теста. Для оценки модифицирующего действия экстрактов использовали их субтоксичные концентрации. Дозы ультрафиолета подбирались на основании предварительных экспериментов, для охвата всевозможных эффектов (субтоксичный, полутоксичный, токсичный). Диапазон поглощенной дозы: 0-29,7 мДж/см² (по УФ-Б). Количественно модуляцию токсического действия УФ выражали в факторе изменения цитотоксичности равным отношению полуингибирующей дозы УФ для культур с добавлением экстракта в питательную среду и без добавления.

Результаты. Полученный фактор изменения цитотоксичности позволил выявить выраженное фотопротекторное действие этанольных экстрактов из *Ramalina pollinaria* и *Cladonia arbuscula*: их присутствие в среде культивирования в 1,6÷2,0 раза понижало гибель клеток кератиноцитов. Так же выявлена концентрационная зависимость их защитного действия. Так, фотозащитное действие экстракта из *Ramalina pollinaria* нарастало с ростом концентрации, вплоть до 10 мкг/мл, тогда как защитное действие экстрактов из *Cladonia arbuscula* было максимальным при низких концентрациях (2,5 мкг/мл).

Вывод. Таким образом, можно заключить, что добавление этанольных экстрактов из *Ramalina pollinaria* и *Cladonia arbuscula* в питательную среду способно снижать цитотоксические эффекты облучения кератиноцитов ультрафиолетовым излучением. Данная модификация носит концентрационно зависимый характер.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАРКЕРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УФ-ИНДУЦИРОВАННОГО АПОПТОЗА ЛИМФОЦИТОВ ЧЕЛОВЕКА

М.А. Наквасина, В.Г. Артюхов, М.С. Радченко

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

nakvasina_ma@mail.ru

Ранее нами были исследованы механизмы апоптотической гибели лимфоцитов периферической крови доноров в условиях воздействия УФ-света (240—390 нм) в дозах 151, 1510 и 3020 Дж/м².

Целью исследования явилось обобщение данных о временных параметрах реализации различных механизмов и путей УФ-индуцированного апоптоза лимфоцитов человека, оцениваемых путем анализа динамики комплекса маркерных показателей апоптотического типа клеточной гибели.

Материалы и методы. Объектом исследования явились лимфоцитарные клетки, выделенные из гепаринизированной крови доноров. Доза УФ-облучения (240—390 нм) лимфоцитов, суспендированных в растворе Хенкса (рН 7,4), составляла 1510 Дж/м². В работе использовали методы иммуноферментного анализа, люминесценции, ДНК-комет, спектрофотометрии.

Результаты. Наибольший прирост уровня маркеров рецепторного механизма апоптоза – количества Fas-рецепторов смерти плазматических мембран и активности инициирующей каспазы-8 – приходится на время 3-4 ч после УФ-облучения. Прирост уровня активных форм кислорода в цитозоле сразу после облучения составляет 4 раза по сравнению с уровнем АФК в нативных клетках, а через 1 и 2 ч этот прирост остается на уровне 4,5-4,6 раза. Выявлено статистически значимое по сравнению с контролем повышение уровня цитозольного ионизированного кальция сразу после воздействия УФ-света на лимфоциты, а также через 1, 2, 3 и 4 ч после облучения. Клетки сразу реагируют на УФ-облучение увеличением концентрации ионов кальция в цитозоле (прирост показателя по сравнению с контролем – 24 %). Максимальный прирост уровня кальция – через 2 ч после облучения – 35 %, через 4 ч – снижается и составляет 15 %. Сразу после УФ-облучения наблюдался значительный рост активности инициирующей каспазы-12. Рост показателя р53-зависимого пути ядерного механизма апоптоза – уровня поврежденности ДНК – регистрируется сразу после облучения лимфоцитов – $3,37 \pm 0,65^* \%$ (контроль $0,52 \pm 0,33$), достигает пика через 8 ч после облучения – $21,96 \pm 3,58^* \%$ (контроль $0,77 \pm 0,23$) и снижается через 20 ч до $12,54 \pm 2,23^*$ (контроль $1,16 \pm 0,47$) %. Максимальный уровень р53 наблюдался через 8 ч после УФ-облучения лимфоцитов.

Заключение. Ключевыми медиаторами УФ-индуцированного апоптоза лимфоцитов являются активные формы кислорода и ионы кальция. «Быстродействующие» механизмы апоптоза в условиях УФ-облучения – митохондриальный и механизм, связанный с нарушением кальциевого гомеостаза («кальций-зависимый»). «Долгосрочный» – рецепторный каспазный и ядерный. Усилителями (триггерами) митохондриального механизма апоптоза являются «кальций-зависимый» и ядерный (р53-зависимый путь). По всей вероятности, «узловые» точки быстрого регулирования УФ-индуцированного апоптоза – это системы генерации активных форм кислорода и перераспределения ионов кальция между клеточными компартментами.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2020—2022 годы, проект № FZGU-2020-0044

УФ-ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СВОБОДНЫХ И ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА МАТРИЦЕ ХИТОЗАНА ПРОТЕАЗ

С.М. Панкова, М.Г. Холявка, В.Г. Артюхов

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия
sazykina.93@mail.ru

УФ-излучение является важнейшим фактором естественного и искусственного климата в современных условиях окружающей среды, оказывает постоянное влияние на живые системы. Изучение молекулярных механизмов различных фотохимических изменений в биологических системах – одна из основных задач исследования эффектов УФ-света. Фотобиологические работы дают возможность для изучения изменений белковых молекул с целью получения фотопротекторных соединений для защиты живых систем от повреждающего действия УФ-излучения.

Целью данного исследования явилось изучение влияния ультрафиолетового излучения на фотомодуляцию активности некоторых протеаз как свободных, так и иммобилизованных на матрице хитозана.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны трипсин быка фирмы «MP biomedical», коллагеназа, фицин, папаин, бромелин фирмы «Sigma-Aldrich», субстратом для гидролиза служил бычий сывороточный альбумин (БСА) фирмы «Sigma-Aldrich», носителями для иммобилизации - хитозаны, синтезированные ЗАО «Биопрогресс»: кислоторастворимые среднемолекулярный (200 кДа), высокомолекулярный (350 кДа), пищевой хитозан (> 100 кДа) и сукцинат хитозана. Иммобилизацию протеаз осуществляли адсорбционным методом. Определение количества белка в препаратах и их активности проводили модифицированным методом Лоури. УФ-облучение растворов свободных и иммобилизованных протеаз проводили с помощью ртутно-кварцевой лампы типа ДРТ-400 через светофильтр УФС-1 с полосой пропускания 240–390 нм. Дозы облучения составляли: 151, 453, 755, 1510, 3020, 4530 и 6040 Дж/м². Статистическую обработку полученных результатов проводили с применением *t*-критерия Стьюдента при $p < 0.05$.

Результаты. Установлено, что каталитическая способность молекул свободных ферментов под воздействием УФ-света подвержена изменению в большей степени, чем в иммобилизованном состоянии. По степени фоточувствительности гидролазы можно расположить в следующий ряд: коллагеназа → бромелин → фицин → папаин → трипсин. Следовательно, иммобилизация на матрице хитозана приводит к повышению УФ-стабильности гетерогенных биокатализаторов по сравнению со свободными энзимами.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о фотопротекторном эффекте матрицы хитозана, который может быть обусловлен следующими причинами: молекулы ферментов при взаимодействии с матрицей хитозана образуют фоторезистентные комплексы; молекулы хитозана экранируют активные фотопродукты свободнорадикальной природы, предотвращая фотоокисление определенного числа аминокислот, в том числе активных центров изученных ферментов при воздействии УФ-облучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук МД-1982.2020.4. Соглашение 075-15-2020-325.

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОТОМСТВО ОБЛУЧЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

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

МРНЦ им. А.Ф.Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ РФ, Обнинск
whiskas04@yandex.ru

В настоящее время происходит очень активное внедрение в жизнь человека мобильной связи, при использовании которой происходит ежедневное облучение головного мозга. Мобильными телефонами пользуются не только взрослые люди, но и дети и беременные женщины, подвергая воздействию электромагнитного излучения еще формирующийся организм не родившегося ребенка. Крайне чувствительной к воздействию электромагнитного излучения оказывается ЦНС.

Главной задачей настоящего исследования являлось изучение влияния ЭМИ диапазона частот мобильной связи при хроническом воздействии. В ходе эксперимента 15 самцов крыс Вистар подвергали хроническому ЭМИ, частота 1800 МГц, ППЭ 85 мкВт/см², 1 час в день, 18 дней. После чего 30 интактных половозрелых самок подсаживали к облученным самцам из расчета 1:2. Начало беременности определяли по наличию сперматозоидов во влагалищных мазках. Беременные самки были разделены на опытную (15 самок) и контрольную (16 самок) группы. Беременные самки из опытной группы подвергались хроническому ЭМИ в безэховой камере в решетчатых контейнерах 1 час в день, с 5 по 17 день беременности. Условия облучения: несущая частота 1800 МГц, ППЭ 85 мкВт/см², на расстоянии от источника излучения 1,3 метра. Самки из контрольной группы подвергались ложному облучению в безэховой камере в решетчатых контейнерах. Потомство F1 этих самок в возрасте 1 месяца было отсажено от самок с целью доращивания до возраста 3 месяцев и дальнейшего тестирования.

Материалы и методы. Анализ последствий, индуцированных немодулированным хроническим ЭМИ, проводили по показателям эмбриональной токсичности, определяли уровень пред- и постимплантационной смертности зародышей, а также совокупность критериев, характеризующих течение беременности и родов у самок и постнатального развития потомства в течении первых 30 дней жизни. Когнитивные функции мозга потомства F1 оценивали по способности к выработке и воспроизведению условного рефлекса активного избегания (УРАИ). В экспериментах использовали стандартную методику обучения крыс в челночной камере Шаттл-бокс.

Результаты. В результате проделанной работы выявлено: эмбриогенез потомства первого поколения у самок подопытной группы протекает без существенных отклонений от нормы и от показателей контрольной группы. По полученным данным удалось установить, что хроническое немодулированное ЭМИ не оказывает существенного влияния на течение беременности самок и раннее постнатальное развитие их потомства первого поколения. По тесту выработки условного рефлекса активного избегания самцы F1, рожденные от облученных самок, не отличаются от самцов F1, рожденных от контрольных самок. По всем интегративным и скоростным показателям обучаемости достоверных различий нет. Что же касается самок F1, у них наблюдалась сниженная способность к обучению.

Выводы. Удалось установить, что хроническое немодулированное ЭМИ не оказывает существенного влияния на течение беременности самок и раннее постнатальное развитие их потомства первого поколения. Выраженного негативного воздействия на когнитивные функции мозга крыс также не выявлено. Следует, однако, отметить, что самки F1 опытной группы отстают от контрольных по степени консолидации навыка, выработанного при предыдущем тестировании, хотя это отставание практически полностью компенсируется к концу сеанса за счет увеличения скорости обучения. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-413-40004.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТА СИНЕРГИЗМА КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ УФ-СВЕТА И ГИПЕРТЕРМИИ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АГЕНТОВ И ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ МЕЖДУ НИМИ

О.В. Переклад, П.С. Купцова, Г.П. Жураковская

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России,
Обнинск, Россия,
perekladav@mail.ru

Существует парадигма, что механизм синергизма комбинированного действия двух агентов обусловлен взаимодействием субповреждений, вызванным каждым из повреждающих факторов, с образованием дополнительных летальных повреждений. Максимальный синергизм наблюдается при одновременном действии агентов. При последовательном действии интервал времени между агентами должен быть минимальным для сохранения наибольшего синергизма.

Цель: определить степень влияния последовательности применения агентов и интервала времени между ними на проявление эффекта синергизма комбинированного действия УФ света и гипертермии.

Материалы и методы исследования. Объект – дидоидные дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae* дикого типа (XS800). УФ свет 254 нм, 4,5 Вт/м², температура T=55°C (±0.1°C). В эксперименте исследовали последовательности: УФ+T°C и T°C +УФ через интервалы времени 15 секунд, 2, 5, 7, 10, 20, 30 и 60 минут.

Результаты. Одновременное действие УФ света и гипертермии является синергическим и его величина характеризуется коэффициентом $k = 1,62 \pm 0,08$. Увеличение интервала времени от 0 до 30 мин не влияло на величину синергизма при последовательности воздействующих факторов УФ+T°C. Дальнейшее увеличение интервала приводило к достаточно резкому исчезновению синергизма и возникновению эффекта антагонизма. Обратная последовательность факторов характеризовалась еще большей скоростью исчезновения синергизма и смене его антагонизмом взаимодействия повреждений, обусловленных гипертермией и следующим за ней ультрафиолетовым излучением.

Выводы. Получена зависимость синергического эффекта для двух последовательностей действия УФ света и гипертермии от интервала времени между агентами. Придерживаясь, сформулированной ранее парадигмы о механизме синергического взаимодействия, сделано предположение, что субповреждения, индуцируемые УФ светом, взаимодействуют с субповреждениями, возникающими при действии гипертермии, обуславливая эффект синергизма. В этом случае синергизм сохраняется более длительное время тогда, когда первым фактором в последовательности является УФ свет, обуславливающий формирование большего количества субповреждений. Последующее действие гипертермии приводит к образованию дополнительных летальных повреждений. При этом следует отметить, что УФ-субповреждения существуют более длительное время, чем субповреждения, обусловленные гипертермией. Об этом свидетельствует исчезновение синергизма при возникновении даже небольшого интервала времени между воздействующими агентами при последовательности T°C +УФ. В зависимости от степени поражения клеток субповреждения либо восстанавливаются, либо становятся летальными. Особый интерес представляет резкая смена характера взаимодействия факторов – от синергизма до антагонизма, что требует своего объяснения.

ДЕЙСТВИЕ НЕТЕРМАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ НА ФИТОПАТОГЕНЫ СЕМЯН ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

М.Г. Помясова, Д.И. Петрухина, Е.И. Карпенко, В.А. Харламов

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия
mariya-zelenetskaya@mail.ru

Грибковые фитопатогены ежегодно наносят серьезный ущерб сельскохозяйственной продукции. Более 10 лет назад зарубежные ученые начали внедрять плазменные технологии для повышения жизнеспособности семян, а также для защиты их от различных грибковых заболеваний. Нетермальная плазма в сельском хозяйстве применяется в основном, для дезинфекции продуктов и сельскохозяйственных культур после сбора урожая. Влияние нетермальной плазмы на различные фитопатогены зерновых культур, таких как *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.* [3, 4, 5] приводит к инаktivации этих болезней.

Целью работы являлось изучение влияния нетермальной плазмы на развитие фитопатогенов семян ярового ячменя.

Материалы и методы. Эксперимент проводили на семенах ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Владимир, которые были заражены болезнями. Семена облучали нетермальной аргоновой СВЧ-плазмой (разработанной в ВНИИРАЭ), в течение 1-30 минут. Контрольные и обработанные группы семян проращивали в соответствии с ГОСТ 12038-84. Зараженность болезнями определяли по ГОСТу 12044-93. Статистическую обработку результатов исследований проводили с помощью пакета программ Microsoft Excel.

Результаты. В результате выполненных исследований, установлено, что степень поражения семян фузариозной корневой гнилью снижается после обработки нетермальной плазмой при 30 минутах. Облучение семян ячменя 25 минут приводит к снижению степени поражения сапротрофными плесневыми грибами рода *Penicillium*, а на грибы рода *Aspergillus* после 1 минуты.

Распространенность фузариоза была ниже, чем в контроле у семян, облученных плазмой при 30 минутах, также наблюдается понижение распространенности болезни грибов рода *Penicillium* при 25 минутах и рода *Aspergillus* при 1 минуте.

Выводы. Влияние нетермальной аргоновой СВЧ-плазмы на зараженность сапротрофными плесневыми грибами родов *Penicillium* и *Aspergillus* у семян ячменя уменьшилась в 2 раза, а зараженность гельминтоспориозной и фузариозной корневой гнилью почти не изменялась.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ, СВЯЗАННЫХ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ

Е. А. Пряхин¹, Л. И. Уруцкоев², Е. В. Стяжкина^{1,3}, Н. Д. Пилиа²

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

²Сухумский физико-технический институт АНА, Сухум, Абхазия

³Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
pryakhin@yandex.ru

Исследования высокотемпературной и низкотемпературной плазмы широко проводятся как в интересах фундаментальной, так и прикладной физики. Важной проблемой является оценка безопасности и определение биологического действия факторов, связанных с индукцией горячей и холодной плазмы.

Целью данного исследования являлось изучение биологического действия факторов, связанных с высокотемпературной и низкотемпературной плазмой.

Материалы и методы. Факторы, связанные с высокотемпературной плазмой (рентгеновское, нейтронное излучение) индуцировали на установке плазменного фокуса КПФ-4. А факторы, связанные с низкотемпературной плазмой (световая вспышка, импульс магнитного поля, излучение неизвестной природы, оставляющее специфические треки, ранее получившее название «странного» излучения) индуцировали с помощью сильноточного взрыва проводников в вакууме на установке «Гелиос» (СФТИ, Абхазия). Для прояснения роли различных факторов использовали следующие материалы экранирования: бериллий; черная фотонепроницаемая бумага; алюминий; свинец. Изучалось комбинированное действие исследуемых факторов на индукцию повреждений ДНК в лейкоцитах периферической крови человека (метод ДНК комет), на прорастание и скорость роста семян латука, на рост зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda*, на индукцию хромосомных aberrаций в клетках меристемы корня проростка семян лука (*Alium Cera*). Статистический анализ проведен с применением многофакторного анализа признаков сопряженности в главной линейной модели.

Результаты. Установлено, что во всех 4-х биологических моделях было зарегистрировано биологическое действие «странного» излучения. Такое биологическое действие проявлялось в следующих эффектах: 1) в снижении уровня повреждения ДНК в лейкоцитах периферической крови человека; 2) в снижении длины корня, проростка и, соответственно суммарной длины проростка семян латука; 3) в снижении доли одноклеточных и, соответственно, увеличении доли четырехклеточных ценобиев в культуре зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda*; 4) в повышении частоты хромосомных aberrаций в клетках корня лука. Материалы экранирования модифицируют биологическое действие «странного» излучения. Высказана гипотеза, что биологическое действие «странного» излучения связано с повреждением ДНК за счет индукции сшивок ДНК-ДНК и сшивок ДНК-белок.

Выводы. Выявлено биологическое действие факторов, связанных с высокотемпературной и низкотемпературной плазмой, которое на основе результатов многофакторного дисперсионного анализа может быть связано с действием излучения неизвестной природы, оставляющего специфические треки на ядерных эмульсиях и других материалах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Академии наук Абхазии в рамках научного проекта № 19-52-40003.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

Н.Б.Рубцова¹, С.Ю.Перов¹, А.Ю.Токарский², О.В.Белая¹

¹Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф.Измерова,
Москва, Россия

²АО «НТЦ ФСК ЕЭС», Москва, Россия
rubtsovanb@yandex.ru

Электромагнитная безопасность (ЭМБ) электросетевых объектов обеспечивается за счет снижения рисков неблагоприятного влияния на человека и окружающую среду генерируемых этими объектами электрических и магнитных полей (ЭП и МП), в основном, промышленной частоты (ПЧ - 50/60 Гц). Наибольший интерес в этом аспекте представляют воздушные и кабельные линии электропередачи. ЭМБ обеспечивается как наличием гигиенических нормативов ЭП и МП ПЧ, так и созданием для воздушных линий электропередачи (ВЛ) санитарно-защитных зон (СЗЗ) – санитарных разрывов, на границах которых уровни ЭП не должны превышать нормативных значений, установленных для селитебных территорий. Однако при определении границ этих полос отчуждения вклад МП не учитывается. В РФ параллельно существуют нормативные значения границ СЗЗ для ВЛ 330-1150 кВ и охранных зон для ВЛ напряжением выше 1 кВ, которые частично отличаются и также не учитывают МП.

Разработана и применяется схема измерений уровней ЭП и МП ПЧ, позволяющая адекватно оценивать характер их распределения в пределах СЗЗ и охранных зон ВЛ в любом числе пролетов.

Выполнены натурные измерения уровней ЭП и МП частотой 50 Гц в пределах прохождения нескольких ВЛ напряжением 500 и 750 кВ, позволившие определить характер их распределения в зависимости от расстояния от проекций фазных проводов. Сравнение результатов натурных измерений с данными расчетов уровней ЭП и МП ПЧ показали высокую сходимость результатов.

Результаты оценки уровней ЭП и МП 50 Гц в пределах СЗЗ свидетельствуют о возможности превышения гигиенических нормативов для работающих по напряженности ЭП ПЧ для всей рабочей смены, как в пределах проекций проводов крайних фаз ВЛ и между ВЛ, так и на расстоянии 15 м и ближе от проекции проводов крайней фазы. Кроме того, в пределах проекций проводов крайних фаз ВЛ 500 кВ возможно превышение гигиенического норматива 20 мкТл, установленного для пребывания в зоне прохождения воздушных и кабельных линий электропередачи лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией электроустановок.

Для работающих наиболее эффективным способом защиты от ЭП ПЧ является применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), но они не обеспечивают защиту от МП. Основной характеристикой эффективности СИЗ является коэффициент экранирования, выражающий степень ослабления уровня воздействия на человека, которая определяется путем испытаний, но сегодня оценка осуществляется косвенным методом, что не дает возможности сопоставления с нормативами ЭП ПЧ. С учетом неоднозначности оценки эффективности экранирования по полю и по наведенным токам, были созданы и применены математические модели тела человека с использованием СИЗ, что является важным этапом разработки научно обоснованных подходов к гармонизации критериев оценки эффективности, которое учитывает не только металлизированные объекты, в том числе и СИЗ, но и модели тела человека, что является важной составляющей в совершенствовании принципов обеспечения безопасности персонала электросетевых объектов.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ НАГРУЗКА, СОЗДАВАЕМАЯ ТЕРМИНАЛАМИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ, ВЛИЯЕТ НА РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Рыбалко С.Ю., Яценко С.Г.

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского Министерства науки и
высшего образования России, Симферополь
kphis012@yandex.ua

Выявление взаимосвязи распространенности болезней системы кровообращения с электромагнитной обстановкой, создаваемой терминалами мобильной связи (ТМС) является актуальной проблемой современной профилактической медицины. В работе дана оценка электромагнитной обстановки, создаваемой ТМС по значению индивидуальной электромагнитной нагрузке (ИЭН).

Материал и методы. Используя данные измеренной в 2102 точках Республики Крым плотности потока энергии (ППЭ) и интервала доступа (ИД) *методом краудсорсинга по 1 850 отчетам о детализации звонков операторов мобильной связи определяли индивидуальную электромагнитную экспозицию (ИЭЭ)*. За ИД принимался интервал времени соединения, в течение которого ТМС имеет максимальную мощность электромагнитного излучения, величина которого линейно связана с загруженностью мобильной сети в данном регионе. Используя полученные данные рассчитывали длительность электромагнитной экспозиции (ДЭЭ). Медико-статистический анализ болезней системы кровообращения (БСК) проведен на основании данных статистических отчетных форм за 2015 – 2018 г, полученных из ГБУ РК «Крымский медицинский информационно-аналитический центр» (МИАЦ). Статистическая обработка проводилась с использованием линейного корреляционного анализа по Пирсону.

Результаты. Проведен мониторинг электромагнитной обстановки создаваемой мобильной связью на территории республики Крым. Определена средняя за год плотность потока энергии (ППЭ) равная $1,43 \pm 0,09$ мкВт/см² при колебаниях от 0,94 мкВт/см² в Белогорском районе, до 2,04 мкВт/см² в г. Симферополь. Рассчитанная индивидуальная электромагнитная нагрузка (ИЭН) по Крыму в среднем была равна $117,8 \pm 6,55$ (мкВт/см²)•мин. ИД по Крыму находился в пределах от $6,32 \pm 0,19$ с в Джанкойском районе до $11,31 \pm 0,23$ с в г. Симферополь. Среднее значение по Крыму было равно $9,05 \pm 0,41$ с. Среднесуточная ДЭЭ составила $57,57 \pm 1,15$ мин. Выявлены статистически достоверные (на уровне $p < 0,05$) корреляционные связи между годовыми значениями ППЭ и показателями общей заболеваемости (ПОЗ) БСК ($\text{Tau} = 0,399$) и показателями первичной заболеваемости (ППЗ) повышенным кровяным давлением (ПКД) ($\text{Tau} = 0,304$). Также были обнаружены достоверные корреляционные связи ИЭН с ПОЗ БСК ($\text{Tau} = 0,437$), ПОЗ ПКД ($\text{Tau} = 0,377$) и ППЗ ПКД ($\text{Tau} = 0,342$). При анализе в целом за год исследования обнаружены достоверные ($p < 0,05$) корреляционные связи между ДЭЭ и ППЗ ПКД ($\text{Tau} = 0,299$) и ППЗ цереброваскулярными болезнями (ЦБВ) ($\text{Tau} = 0,411$).

Вывод. Результаты работы подтвердили гипотезу о влиянии электромагнитной обстановки, создаваемой мобильной связью, на распространенность болезней системы кровообращения и имеют сложный временной и территориальный характер, что требует дальнейших исследований в этом направлении.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-013-01028А.

МАГНИТНЫЕ БУРИ И НИЗКОЧАСТОТНЫЙ МАГНИТНЫЙ ШУМ В АВТОМОБИЛЯХ И ГОРОДСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Р. М. Саримов, В. Н. Бинги

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия
rusa@kapella.gpi.ru

Существует множество исследований, в которых регистрируется влияние геомагнитных возмущений на состояние здоровья человека. Порядок величины индукции магнитного поля (МП) во время геомагнитных бурь составляет сотни нТл. Остается открытым вопрос о механизме биотропных эффектов таких МП, тем более что в городских условиях геомагнитные возмущения происходят на фоне городского магнитного шума.

Целью данного исследования является измерение и анализ спектральных характеристик низкочастотного МП внутри нескольких автомобилей с бензиновым двигателем во время движения по оживленным городским трассам. Спектры, полученные при измерениях в салоне автомобилей, сравниваются со спектрами, измеренными в помещениях в разное время суток и с возмущениями геомагнитного поля.

Материалы и методы. Измерения МП проводились с использованием трехосного датчика FL3-100 (диапазон измерения ± 100 мкТ, ширина полосы от 0 до 2 кГц (-3 дБ), Stefan Mayer Instruments, Dinslaken, Германия), подключенного через 16-битный аналого-цифровой преобразователь NI USB-6251 (National Instruments, Austin, TX) к ноутбуку. Датчик устанавливался в середине кабины легкового автомобиля. Всего было совершено четыре поездки на трех автомобиля разных марок длительностью 1-1.5 часа. Аналогичным образом были сделаны записи (1-2 суток) МП в помещениях трех различных исследовательских институтов в Москве.

По данным измерений, используя стандартное преобразование Фурье, получали спектры МП. Полученные спектры сравнивались со спектрами, вариаций геомагнитных возмущений предоставленных геофизической обсерваторией Института физики Земли им. Шмидта РАН в п. Борок.

Результаты. Спектральная плотность мощности МП в автомобилях, движущихся по оживленным трассам, в диапазоне частот 10^{-3} - 10^2 Гц, на один-три порядка выше, чем в городских офисных помещениях. В свою очередь, в дневное время мощность МП в диапазоне от 10^{-3} до 1 Гц внутри помещения в три раза выше по сравнению с мощностью сильной геомагнитной бури. Однако ночью это соотношение существенно меняется.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что эффект магнитных бурь, скорее всего, связан с относительно длительными, продолжающимися несколько часов или более (диапазон частот 10^{-4} - 10^{-5} Гц), периодами усиления или ослабления локального геомагнитного поля. В этом диапазоне, особенно в ночное время, спектральная плотность мощности геомагнитных возмущений сравнима и может даже превышать плотность мощности городских МП.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РАДИОБИОЛОГИИ

А.Ю. Сетейкин¹, М.В. Ильина¹, Е.А. Ванина¹, А.В. Алехнович²

¹Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды, предприятие ГК «Росатом»
ФГУП «РАДОН»

²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования
Министерства здравоохранения Российской Федерации
AYSeteykin@radon.ru

История инновационного применения лазерного излучения демонстрирует его повсеместный характер. На протяжении более 10 лет рассматривается возможность практического использования лазеров для адронной лучевой терапии на основе энергетического выхода ионов при интенсивных лазерно-плазменных экспериментах. Данный факт является одним из основных рассматриваемых приложений в лазерных исследованиях ускорения ионов. Следует также отметить применение лазера с накачкой электронным пучком для лучевой терапии и радиобиологии, а также использование лазерных протонных пучков для радиобиологических исследований.

В настоящее время стремительно развиваются лазерные технологии и исследования в области физики лазерной плазмы. В последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в области мощных лазерных технологий, когда мощность излучения достигает уровня петаватт (ПВт). При адекватной фокусировке петаваттные лазеры могут генерировать пиковые электрические поля порядка 10^{12} В/см с относительно эффективным преобразованием в релятивистские электроны с энергиями, превышающими 1 ГэВ. В свою очередь эти электроны могут генерировать пучки протонов, тяжелых ионов, нейтронов и фотонов высоких энергий. Имеется немало публикаций, посвященных возникновению ионных и электронных пучков при интенсивном лазерном облучении.

В 2007 году Линц и Алонсо опубликовали оригинальную статью под названием «Что нужно для лазерного ускорителя протонов, который будет применяться в терапии опухолей». В данной публикации был признан потенциал лазерной системы. Но при этом, оптимизм лазерных физиков не должен вызывать чрезмерных ожиданий в медицинском сообществе. Снижение стоимости и размеров лазерной системы являются главными целями при разработке лазерных ускорителей пучка частиц для лучевой терапии. Тем не менее, для подтверждения уникальных возможностей лазерных ускорителей должны быть решены многие научные и технические проблемы.

СОСТОЯНИЕ ЯДЕРНОЙ ДНК КЛЕТОК ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ДЕЙСТВИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Е.В. Стяжкина^{1,2}, А.А. Перетыкин², Е.А. Пряхин²

¹Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

²Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Челябинск, Россия
yelena-st@mail.ru

Многочисленные исследования указывают на влияние неионизирующих электромагнитных излучений (ЭМИ) и полей (ЭМП) на клетки и организм растений, животных и человека, однако механизмы действия, а также эффекты ЭМП в комбинации с другими физическими факторами не установлены.

Целью данного исследования является изучение комбинированного действия γ -излучения и импульсного магнитного поля (ИМП) на ДНК лейкоцитов периферической крови человека.

Материалы и методы. Для эксперимента использовали лейкоциты крови 3-х взрослых здоровых доноров без хронических заболеваний и вредных привычек. Кровь *in vitro* подвергали внешнему острому γ -облучению в дозе 3 Гр на установке ИГУР-1М с мощностью дозы 78 сГр/мин, после чего пробирки с кровью помещали в генератор ИМП (частота следования импульсов 28,6 кГц, импульс треугольной формы с фронтом 0,05 мкс и длительность спада 0,25 мкс, индукция магнитного поля в импульсе в месте расположения пробирок с кровью 5,1 мТл). Состояние ДНК оценивали с помощью щелочного варианта метода ДНК комет через 5, 30, 60 и 120 минут после γ -облучения (γ -контроль); воздействия ИМП (ИМП-контроль), комбинированного действия γ -излучения и экспозиции ИМП; а также в интактных клетках. Эксперимент проводили в CO₂ климатостате при 37⁰С. Для характеристики состояния ядерной ДНК использовали параметр «момент хвоста» кометы.

Результаты. Установлено, что через 5 минут при комбинированном действии γ -излучения излучений среднее значение «момента хвоста» комет составило 210 ± 7 , что было статистически значимо выше, чем значение параметра в группе ИМП-контроля (87 ± 11), и группе биологического контроля (36 ± 6), но не отличалось от значения показателя в группе γ -контроля (187 ± 16). Через 30 минут после комбинированного действия значение «момента хвоста» повышалось до 322 ± 32 и было статистически значимо выше, чем во всех других экспериментальных группах: ИМП-контроля – 31 ± 5 ; γ -контроля – 89 ± 11 ; в группе биологического контроля – 25 ± 2 . Через 60 минут в группе комбинированного действия значение «момента хвоста» составило 127 ± 17 , что было статистически значимо выше, чем значение параметра в группе ИМП-контроля (16 ± 3), и в группе биологического контроля (48 ± 11), и не отличалось от значения в группе γ -контроля (86 ± 34). Через 120 минут в группе комбинированного действия исследуемых факторов значение «момента хвоста» составило 51 ± 12 , что было статистически значимо ниже, чем в группе γ -контроля (158 ± 43), и статистически значимо выше, чем в группе ИМП-контроля (15 ± 1), но не отличалось от значения в группе биологического контроля (50 ± 13).

Выводы. Значительное увеличение уровня повреждения ядерной ДНК при комбинированном действии γ -излучения и ИМП через 30 мин после γ -облучения может свидетельствовать о синергическом повреждающем действии исследуемых факторов при использованных уровнях их влияния, либо о стимулирующем действии ИМП на процессы эксцизионной репарации.

МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ МОРФОМЕТРИИ В ОЦЕНКЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Д.В. Ускалова¹, К.В. Устенко², А.А. Жалнина¹, А.В. Дорохов¹, Е.И. Саранульцева^{1,2}

¹ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск, Россия,

²НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

uskalovad@mail.ru

Целью исследования было создание компьютерной тест-системы для экспресс-анализа биологических эффектов низкоинтенсивного радиочастотного облучения.

Материалы и методы. Работа проведена на инфузориях *Spirostomum ambiguum*, плоских червях *Dugesia tigrina* и ракообразных *Daphnia magna*. Животных облучали в ЭМП с частотой 900 МГц и ППЭ 50 и 100 мкВт/см². Экспозиции составляли от 30 мин до 5 сут. Применен метод компьютерной морфометрии с использованием программы «Image-Pro». Морфометрические изменения у *D. tigrina* оценивали по индексу регенерации на 4 сут после декапитации и облучения. Для *S. ambiguum* были выбраны параметры, отражающие паталогические изменения формы тела, способные привести к снижению двигательной активности и возможной гибели животных. Морфометрические изменения у *D. magna* оценивали по измерению соотношения длины тела и шипа. Полученные результаты проанализированы с использованием непараметрических критериев Крускала-Уоллеса и χ^2 с поправкой Бонферрони на множественное сравнение.

Результаты. Для облученных и контрольных планарий получены значения индекса регенерации, определяемого методом регистрации фотоконтраста между старыми (пигментированными) и новыми (прозрачными) частями тела планарий на 4 и 7 сутки после декапитации и равного отношению площади регенерирующей бластемы к площади всего тела червя. Выявлена корреляция между изменением индекса регенерации и снижением пула жизнеспособных клеток и метаболической активности планарий. На основе морфометрии планарий были разработаны системы оценки морфометрических нарушений у инфузорий и дафний, позволяющие выявить физиологически важные для этих организмов изменения формы и размеров тела. Под действием негативных факторов среды у инфузорий нарушается двигательная активность и образуются такие изменения формы тела, как «вертячки» и «сжатия», что может служить предвестниками гибели. Заложенные в программу «Image-Pro» параметры (отношение минимального и максимального диаметров, длина тела инфузории, периметр и отклонение от окружности) позволили количественно рассчитать значения «физиологической нормы» и отклонений от нее. С использованием данного метода изучены эффекты при разных экспозициях в электромагнитном поле и выявлена корреляция изменения формы тела с изменением двигательной активности. Разработанный нами метод позволил количественно оценить темпы роста тела дафний и изменение длины хвостового шипа (как специфической реакции на внешние факторы) в процессе онтогенеза. Проведена оценка воздействия ЭМИ и голода на морфометрические показатели дафний, облученных в ранний ювенильный период. Результаты коррелируют с данными о выживаемости и плодовитости рачков, полученными с помощью гостированных методик, что свидетельствует об эффективности нашего метода.

Вывод. Тест-система на основе компьютерной морфометрии эффективна для выявления острых и отдаленных эффектов низкоинтенсивного радиочастотного облучения беспозвоночных гидробионтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-48-400010.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТОВ ОБЛУЧЕНИЯ В НИЗКОИНТЕНСИВНОМ РАДИОЧАСТОТНОМ ПОЛЕ В УСЛОВИЯХ ГОЛОДАНИЯ НА ПРИМЕРЕ *DAPHNIA MAGNA*

Устенко К.В.¹, Ускалова Д.В.², Жалнина А.А.², Дорохов А.В.², Сарapultцева Е.И.^{1,2}

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

²Обнинский институт атомной энергетики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Обнинск, Россия

ksustenko@gmail.com

Базовые станции сотовой связи являются источниками постоянного и повсеместного электромагнитного фона в диапазоне частот от 400 до 6000 МГц. Для экологического нормирования актуальным вопросом остаётся оценка действия электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ) на биоту в условиях сочетанного влияния природных стрессовых факторов.

Цель работы заключалась в определении биологических показателей, чувствительных к воздействию ЭМИ РЧ с параметрами сотовой связи, у низших гидробионтов *Daphnia magna*, обитающих в условиях голодания. В работе применены физиологический, морфологический и биохимические подходы биотестирования.

Материалы и методы. Односуточных особей *D. magna* разделили на группы: I – нормальный уровень пищи (1,9 мгС/л), II – условие голодания (0,8 мгС/л), III – нормальный уровень пищи + облучение и IV – голодание + облучение. Особей из III и IV групп облучали с первых по пятные сутки на лабораторной установке, непрерывно генерирующей ЭМИ РЧ с частотой 900 МГц и ППЭ 100 мкВт/см². После облучения *D. magna* культивировали поодиночно в лабораторных стаканах с 50 мл культуральной воды до 21-суточного возраста. Кормили ежедневно суспензией *Chlorella vulgaris*. Новорожденных и погибших особей учитывали и удаляли. В каждой группе из 1-суточных особей третьего помёта формировали поколения F1, которые не облучали и культивировали в том же пищевом режиме, что и поколение F0 до 21-суточного возраста. Выживаемость и плодовитость оценивали на ежедневной основе, Морфометрические и биохимические показатели оценивали у 1-, 10- и 21-суточных *D. magna* методом компьютерной морфометрии и МТТ-тестом соответственно. Статистический анализ осуществляли непараметрическими критериями Крускаллы-Уоллеса и χ^2 с поправкой Бонферрони на множественное сравнение.

Результаты. Выявлено, что пища оказывает значимое влияние на рост *D. magna* к 10–30-е сут в обоих поколениях. При недостатке пищи наблюдалось замедление роста и значимое нарушение корреляции между размером тела и длиной шипа *D. magna* ($\chi^2 = 39.87$; df=1; p = 2.78×10^{-10}), возрастом и длиной тела ($\chi^2 = 5.89$; df=5; p = 0.32) и шипа ($\chi^2 = 4.32$; df=1; p = 0.04). При этом облучение не влияло на возрастную динамику морфометрических изменений ($\chi^2 = 8.28$; df=1; p = 0.14). Выживаемость рачков из всех групп в обоих поколениях так же не была нарушена. Анализ плодовитости в поколении F0 показал, что облучение вызывает значимое снижение численности потомства у особей, получающих как недостаточное (p = 0,02) так и оптимальное количество пищи (p = 0,0002). Эффект сохранялся у потомства поколения F1 (p = 0,03 и p = 0,02 для 100% и 50% пищи). С использованием ANOVA-анализа было установлено, что облучение и количество пищи независимо и значимо изменяют МТТ-показатель в исследуемых образцах *D. magna*.

Выводы. Выявлено, что наиболее чувствительным параметром для оценки эффектов облучения ЭМИ РЧ в условиях голодания является плодовитость ракообразных *D. magna*.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-48-400010.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЭФФЕКТОВ ЭШУ

Т.В. Фомина

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

Согласно представлению членов Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) и ряда ученых, к области неионизирующих воздействий относятся электрические и магнитные поля, электрический ток, звук и т.д.

Цель данной работы - изучение биоэффектов различных образцов электрошоковых устройств (ЭШУ) нового поколения. Эти устройства широко применяются в настоящее время на практике, и постоянно совершенствуются. Каждый новый образец требует самостоятельного изучения его биологической эффективности и гигиенической оценки. ЭШУ различаются между собой комбинацией параметров электрического тока.

Материалы и методы. Работа выполнена на взрослых кроликах породы Советская шиншилла. Изучали биоэффекты образцов ЭШУ с различной комбинацией параметров электрического тока в условиях фиксации или свободного передвижения животных, используя различные точки приложения электродов. Анализировали влияние на кожу, двигательную активность и различные системы организма (нервно-мышечную, сердечно-сосудистую, дыхания).

Результаты. Основная, заслуживающая внимания, реакция сводилась к судорожным проявлениям, психомоторному возбуждению, миорелаксации. Этому соответствовали изменения частоты сердечных сокращений и частоты дыхания. Для различных образцов ЭШУ в разной степени проявлялись эти изменения, что различало их по биологической значимости и было оценено с помощью статистической балльной оценки.

Вывод В результате проведенных исследований дана оценка действий новых (ранее не изученных) образцов ЭШУ, представлены сравнение с ранее известными образцами и соответствующая гигиеническая рекомендация.

МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ И НАШИ ДЕТИ: СИТУАЦИЯ ТРЕБУЕТ РЕШЕНИЯ

Н.И.Хорсева

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

sberidan1957@mail.ru

Неоспоримые преимущества мобильной связи давно стали неотъемлемой частью существования цивилизации, и на второй план ушли открытость и неконтролируемость электромагнитного излучения (ЭМИ) мобильных телефонов (МТ). И все-таки мы ими пользуемся, несмотря на то, что в 2011 году Международным агентством по исследованию рака (IARC) ЭМИ МТ отнесено к категории 2В – потенциально опасных и приводящих к развитию рака головного мозга. Тем не менее, многие ученые до сих пор считают, что никакого негативного излучения МТ нет. Однако с каждым годом находится все больше неоспоримых доказательств о негативном влиянии излучения мобильных телефонов на всех уровнях организации живого организма, в том числе на центральную нервную систему. Напомним, что МТ мы подносим к голове, и, следовательно, наш головной мозг подвергается воздействию ЭМИ. Но особенно важно отметить, что в настоящее время и возрастной ценз использования МТ снизился.

Действительно, современное подрастающее поколение – активные пользователи. Но именно поэтому оно попадает в зону особого риска, поскольку растущий организм на всех этапах своего развития наиболее уязвим к воздействию различных внешних факторов (WHO, Backgronder, N3, 2003), о чем неоднократно отмечалось в решениях Российского Комитета по защите от неионизирующего излучения (РНКЗНИ) (2001, 2004, 2008 и 2011 года)

В России за последнее время был опубликован целый цикл статей, монографии, главы в зарубежных изданиях (США: Grigoriev Y.G., Khorseva N.I. in book Mobile Communications and Public Health Edited by Marko Markov 2019 by Taylor & Francis Group, LLC p 237-253), касающихся, в частности, уникальных, единственных в мире 14-летних исследований – МОНИТОРИНГА психофизиологических показателей детей – пользователей мобильной связью. В частности, ранее, в книге [Ю.Г.Григорьев, Н.И. Хорсева «Мобильная связь и здоровье детей. Оценка опасности применения мобильной связи детьми и подростками. Рекомендации детям и родителям М.: Экономика, 2014-230с] даны рекомендации по безопасному использованию мобильной связи детьми и подростками на основании результатов мониторинга.

В последнее время и государственные структуры России обратили внимание на проблему негативного влияния излучения мобильных телефонов на организм подрастающего поколения. 14 августа 2019 года вышли «Методические рекомендации об использовании устройств мобильной связи в общеобразовательных организациях», утвержденные руководителями Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (№ МР 2.4.0150-19) и Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки (№ 01-230/13-01). 10 января 2020 года на сайте Роспотребнадзора опубликованы рекомендации родителям по безопасному использованию мобильного телефона. В этих рекомендациях на государственном уровне было подтверждено, что дети находятся в группе риска.

Учитывая особую уязвимость детей к физическим факторам внешней среды и глубину проникновения ЭМИ МТ в мозг ребенка, мы полагаем, что с радиобиологической точки зрения уже назрела необходимость в разработке специального СанПиНа для детей и подростков для всех имеющихся современных низкоинтенсивных источников электромагнитного излучения, включая Wi – Fi. Разработать инструкцию-вкладыш для каждого аппарата по безопасному режиму пользования МТ.

ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ ПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫМИ ТЕЛЕФОНАМИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Н.И.Хорсева¹, В.А.Марахова²

¹Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,
Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Химкинский лицей, Химки, Россия
sberidan1957@mail.ru

В настоящее время можно считать доказанным, что использование мобильного телефона (МТ) ухудшает все психофизиологические показатели [Grigoriev Y.G., Khorseva N.I. in book *Mobile Communications and Public Health* Edited by Marko Markov 2019 by Taylor & Francis Group, LLC p 237-253]. В связи с этим актуальным является вопрос формирования культуры пользования устройством, прежде всего в образовательных организациях, где происходит становление личности ребенка.

Цель исследования – оценить эффективность профилактических мероприятий, направленных на формирование культуры пользования мобильными телефонами (МТ).

Материалы и методы. Разработан и внедрен цикл профилактических мероприятий, направленных на формирование культуры пользования мобильными телефонами среди участников образовательного процесса, опирающийся на нормативно-правовой блок (в соответствии с законодательством, рекомендациями вышестоящих инстанций и локальными положениями учреждения) и устанавливающий режим и правила использования устройств во время образовательного процесса. Полная циклограмма мероприятий включает в себя реализацию на всех уровнях: административном (правовая и методическая поддержка, выработка стратегии), педагогическом (мероприятия в классах и параллелях, разновозрастные мероприятия и исследовательская деятельность, диагностика и коррекция), ученическом (равноправное участие в реализации задач, инициативность, учебно-исследовательская работа), в том числе с привлечением официальных представителей обучающихся. Для реализации отдельных мероприятий возможно участие приглашенных специалистов.

Оценка эффективности профилактических мероприятий осуществлялась по результатам мониторинга психофизиологических показателей (произвольного внимания и смысловой памяти) и режима пользования мобильными телефонами. В период с 2014 года по настоящее время под наблюдением находятся 608 учащихся 1-6 классов Химкинского Лицея, 486 из которых мониторируются от 2 до 6 лет.

Результаты. По результатам мониторинга режима пользования МТ установлено, что возросло число учащихся, которые используют безопасный режим пользования МТ (громкая связь, использует гарнитуру, SMS, MMS, видеозвонок и пр.) с 16,9% до 33,6%; «переход к безопасному режиму» (держит около уха на расстоянии 2-5 см, чаще использует громкую связь, чем и подносит аппарат к уху и пр.) с 13,4% до 19%. Снижается число учащихся, которые при разговорах подносят телефон к уху с 68,2% до 46,3% с одновременным снижением ежедневным временем пользования.

Анализ мониторинга психофизиологических показателей показал, что у учащихся, перешедших на безопасный режим пользования МТ, психофизиологические показатели практически во всех случаях возвращались в возрастные нормы.

Выводы. Доказано, что целенаправленная и постоянно действующая система профилактической работы в образовательном учреждении, учитывающая все уровни взаимодействия и включающая в себя разнообразные формы деятельности, эффективно позволяет формировать культуру пользования МТ среди участников образовательного процесса.

РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА КРЫС-САМЦОВ НА ПОСТНАТАЛЬНОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ И ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА (1745 Гц)

Н.В. Чуешова

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
natalya-chueshova@tut.by

Целью данного исследования явилось изучение эффектов влияния и отдаленные последствия воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения от мобильного телефона (ЭМИ) на репродуктивную систему (РС) крыс-самцов, на различных этапах онтогенеза, и в антенатальном периоде развития.

Материалы и методы. Исследования *in vivo* выполнены на 444 белых крысах-самцах (исходный генотип Вистар), возрастом 50-52 дня на начало эксперимента. Животных подвергали воздействию ЭМИ МТ на частоте 1745 МГц, 8 час/день, ППЭ 0,2-20,0 мкВт/см², на протяжении трех поколений.

Результаты. Установлено, что ЭМИ МТ вызывает морфофункциональные изменения в РС крыс-самцов, характер и выраженность которых зависит от длительности экспозиции и возраста животных. Наиболее выраженные морфофункциональные изменения установлены у самцов на стадии ранней половой зрелости (57-59 дней), характеризующиеся увеличением массы эпидидимисов и семенных пузырьков, а также инициацией сперматогенного процесса, проявляющийся ранним спермиогенезом – преждевременное половое созревание (в 3 раза), при выраженном снижении жизнеспособности зрелых половых клеток.

Изменения в РС самцов, подвергнутых длительному воздействию ЭМИ от МТ (60 и 90 суток воздействия) характеризуется выраженной реакцией сперматогенного эпителия, проявляющейся значительным снижением жизнеспособности зрелых половых клеток и повышением уровня тестостерона в сыворотке крови.

Хроническое воздействие ЭМИ МТ (ежедневно, 8 час/день) на организм крыс-самцов и самок на протяжении трех поколений, сказалось на снижении рождаемости, и наиболее значительное в третьем поколении. Анализ морфофункционального состояния РС потомства крыс-самцов в возрасте 2, 4 и 6 месяцев показал наиболее выраженные изменения у 2 месячных животных 2 и 3 поколения, что характеризовалось повышением зрелых половых клеток (активация спермиогенеза), падением их жизнеспособности и увеличением фрагментации ДНК в них, а также повышенным содержанием тестостерона в сыворотке крови.

Выявленные особенности изменений в морфофункциональном состоянии РС потомства крыс-самцов, рожденного от родителей подвергавшиеся длительному воздействию ЭМИ МТ в период их постнатального развития (с 50-52 до 140-142 дневного возраста), свидетельствует о том, что данное воздействие является фактором, приводящим к угнетению репродуктивной функции у животных последующих поколений. Установлено снижение количества зрелых половых клеток – сперматозоидов и выраженное ухудшение их жизнеспособности, а также усиление секреции тестостерона.

Вывод. Комплекс выявленных нарушений в морфофункциональном состоянии репродуктивной системы крыс-самцов свидетельствует об угнетении ее функции в условиях воздействия низкоинтенсивного ЭМИ МТ, что может быть фактором, влияющим на снижение мужской фертильности.

ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ, КРИТЕРИИ ПЕРЕХОДА ОТ НОРМЫ К ПАТОЛОГИИ И НАПРЯЖЕННОСТЬ РЕГУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И НЕТЕПЛОВЫХ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А.В. Шафиркин, А.Л. Васин

Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

a.v.shafirkin@mail.ru

Среди рассмотренных интегральных показателей для описания адаптации организма, глубины изменений в различных системах при продолжительном действии экстремальных факторов окружающей среды, рассмотрены возможности обобщенного логарифмического показателя (ОЛП) для количественной характеристики развития повреждений в различных системах, формирования восстановительных и компенсаторных процессов. При этом с помощью этого показателя можно строго количественно оценить степень напряжения регуляторных систем и изменение устойчивости организма с увеличением интенсивности и длительности действия стрессового фактора. Этот показатель может служить комплексной оценкой сдвигов в сложной системе (например, в системе кроветворения, иммунной и сердечно-сосудистой системах и др.), характеризуемых большим числом показателей.

В докладе приводится сравнительный анализ процессов адаптации к длительным хроническим воздействиям ионизирующих и неионизирующих излучений на основе литературных и собственных данных. Продемонстрирована возможность использования ОЛП для характеристики различных стадий адаптационных процессов: нормальной физиологической адаптации (НФА), активной адаптации (АА), неудовлетворительной адаптации (НА) и срыва адаптации (СА) на основе различной степени выраженности напряжения и перенапряжения регуляторных систем. Рассмотрены показатели системы кроветворения, иммунной системы, биохимического статуса организма, условно-рефлекторной деятельности и репродуктивной способности животных при хроническом гамма-облучении мелких лабораторных животных (МЛЖ) и крупных млекопитающих с различной мощностью дозы, а также при воздействии электромагнитных излучений (ЭМИ) низких нетепловых интенсивностей.

В настоящем сообщении также продемонстрированы возможности ОЛП для количественного описания изменений общего функционального состояния (ФС) и здоровья человека, связанных с возрастом и физической активностью на основе показателей сердечно-сосудистой системы (ССС), дыхательной системы и ряда других. у человека

Рассмотрены результаты отдаленных неблагоприятных последствий, связанных с ускоренным старением, сокращением продолжительности жизни у животных, а также данные эпидемиологических исследований об изменении состояния центральной нервной системы (ЦНС), ССС и других при действии на работников ионизирующих излучений и ЭМИ низких нетепловых интенсивностей.

Нами были разработаны и предлагаются новые подходы и критерии нормирования при действии указанных и ряда других стрессовых факторов, когда устанавливаются предельные интенсивности воздействия, которые не вызывают еще перехода к активной адаптации и выраженного и длительного напряжения основных регуляторных процессов организма, приводящие к ускоренному старению. В связи с вышеизложенным в докладе будут предложены сниженные по сравнению с существующими нормативами предельные уровни на профессиональных работников и население действия ЭМИ высоких и сверхвысоких частот.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМИ РЧ (2,4 ГГц) ОТ РОУТЕРА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ Wi-Fi НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И УРОВЕНЬ КЛЕТОЧНОЙ ГИБЕЛИ В ЯИЧНИКАХ *D. MELANOCASTER*

О. В. Шаховская, Е. В. Цуканова, К.М. Фабушева

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

s.o.v.94@mail.ru

Использование источников электромагнитного излучения: сотовая связь, компьютеры беспроводные средства доступа в интернет и других, максимально приближенных к человеку, приводит к увеличению техногенной компоненты электромагнитного излучения (ЭМИ). Стремительное развитие технологий с использованием электромагнитной энергии, увеличение потребностей в использовании компьютеров, планшетов и сотовых телефонов, для выхода в интернет обусловили широкое распространение системы беспроводной связи Wi-Fi, для подключения к которой используются специальные маршрутизаторы – Wi-Fi-роутеры, с частотой излучения 2,4 ГГц. На сегодняшний день система беспроводной связи Wi-fi используется практически повсеместно и человек в независимости от возраста и вида деятельности, пребывает в зоне влияния данного источника ЭМИ радиочастотного диапазона (РЧ) практически круглосуточно, что обуславливает актуальность изучения хронического влияния данных приборов на живые организмы, изучение механизмов и отдельных последствий этого воздействия.

Цель: изучение влияния ЭМИ РЧ (2,4 ГГц) от роутера системы беспроводной связи Wi-Fi на репродуктивные показатели и уровень клеточной гибели в яичниках *D. melanogaster*.

Материалы и методы. После синхронизации популяций *D. melanogaster* линий Canton-S и Hsp22 вылетевших мух подсчитывали, разделяли по полу и ставили на облучение. Установкой облучения служил беспроводной Wi-Fi маршрутизатор, работающий на частоте 2,4 ГГц. Контрольные группы содержались в стандартных комнатных условиях. Группы «облучение» подвергались постоянному (на протяжении получения поколения мух F1) влиянию ЭМИ РЧ 2,4 ГГц от роутера Wi-Fi в стандартных комнатных условиях. В анализ F1 входили такие показатели, как количество куколок, количество вылетевших особей, соотношение мужского и женского пола, уровень клеточной гибели в яичниках.

Результаты. При анализе потомства F1 облученных дрозофил линии Canton-S отмечено достоверное увеличение количества куколок на 28,15% относительно контроля. Так же увеличилось количество не вылетевших дрозофил – на 52,73%, а соотношение полов не имеет существенных различий между группами (1:0,97 – самец:самка). Уровень клеточной гибели в яичниках дрозофил линии Canton-S повышается незначительно – на 3,33% относительно контроля. Поколение F1 линии Hsp22 характеризуется снижением репродуктивных показателей: достоверное снижение количества куколок на 12,95% и не вылетевших дрозофил на 3,33%; соотношение полов смещено в сторону самцов – 1:0,91. Количество апоптотических клеток в яичниках дрозофил линии Hsp22 в группе «облучение» превышает контрольные значения на 87,5%.

Выводы. Воздействие роутера системы беспроводной связи Wi-Fi оказало влияние на репродуктивные показатели дрозофил F1. Значительное повышение уровня клеточной гибели в яичниках было отмечено у дрозофил линии Hsp22.

ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭКРАНОВ КОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ВЛИЯЕТ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

С.Г. Яценко, С.Ю. Рыбалко

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Россия
yswet.net@mail.ru

На сегодняшний день практически все экраны коммуникационных устройств (КУ) имеют полупроводниковую светоизлучающую диодную (LED - light emitting diode) или органическую светоизлучающую диодную (OLED - organic light-emitting diode) подсветку экрана. Как LED, так и OLED имеют непривычный нашему глазу спектральный состав, в том числе HEVL (High Energy Visible Light), который имеет целый ряд биологических эффектов, включая кардиотропный, возможно опосредовано через мелатонин. Таким образом, представляется интересным исследование функционирования сердечно – сосудистой системы при влиянии светодиодного излучения. В связи с этим была сформирована цель исследования: анализ изменения показателей вариабельности сердечного ритма (BCR) под влиянием светового излучения от экранов коммуникационных устройств с различной подсветкой.

Материалы и методы. В исследовании принимали участие 15 юношей-добровольцев в возрасте $20,4 \pm 1,3$ года. Для регистрации кардиоинтервалов применялся автоматизированный способ с использованием электронного кардиографа (Поли-Спектр-8/EX, Нейрософт) по стандартной методике. Оценка BCR производилась с использованием SI (индекс напряжения регуляторных систем), SDNN (среднеквадратичное отклонение), CV (коэффициент вариации), Mo (мода R-R интервалов, мс), AMo (амплитуда моды, %), HBR (частота сердечных сокращений, уд/мин). Экспозиции световым излучением (в качестве источников которого использовали экраны КУ с различными матрицами и подсветками: CCFL (люминисцентная подсветка), LED и AMOLED) предшествовала фоновая запись ЭКГ, которая использовалась в качестве контроля.. Измерение освещенности и спектрального распределения у данных источников проводилось спектрофотометром BTS256-LED, Gigahertz-Optik, Германия. На каждом типе экрана, а также на бумажном носителе применялось стандартное изображение. Статистическая обработка информации осуществлялась с помощью программного обеспечения MedStat с проверкой вариационных рядов на нормальное распределение, с дальнейшим применением непараметрических статистических методов, вычислением медианы (Me), верхнего и нижнего квартилей (Q1;Q3). Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. Анализ показателей BCR показал статистически значимое уменьшение Mo (в мс) при воздействии разных источников подсветки экранов в сравнении с фоновой записью (810 (744; 855)). Наиболее выраженное уменьшение Mo (на уровне $p=0,011$) наблюдалось при сравнении с воздействием излучения от AMOLED (673 (652; 773)) менее выраженное от CCFL (730 (678; 817)). Следует отметить, что при воздействии AMOLED наблюдается выход Mo за границы нормальных значений (700 – 1100 мс). Статистически значимые отличия наблюдались при сравнении SI фонового (83 (58; 123)) и при воздействии LED (131 (108; 224), $p=0,007$), а также AMOLED (114 (80; 225), $p=0,026$). Тенденция к повышению SI отмечается и при излучении CCFL (103 (83; 152), однако различия имеют недостоверный характер ($p=0,097$). Увеличение SI свидетельствует о доминировании симпатического отдела ВНС и повышенном уровне централизации управления сердечным ритмом со стороны ЦНС.

Закключение. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии оптического излучения экранов КУ на BCR и реактивный вегетативный тонус организма.

СЕКЦИЯ № 12

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ В ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЯХ

С.В. Битаршвили, П.Ю. Волкова, И.А. Пишенин

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия
bitarishvili.s@gmail.com

Авария на Чернобыльской АЭС явилась причиной радиоактивного загрязнения больших площадей земель. Природные популяции, обитающие на загрязненных территориях, являются уникальными объектами исследования механизмов адаптации растений к хроническому радиационному воздействию.

Формирование адаптивных реакций растений на стресс – сложный процесс, затрагивающий изменения на всех уровнях организации. Одну из важнейших ролей играет гормональная система, а именно абсцизовая кислота (АБК), известная как «гормон стресса» растений. Накопление АБК в тканях ведет к мобилизации адаптивных ресурсов растения, поэтому увеличение ее концентраций можно рассматривать как индикатор стресса. Целью данного исследования явилась оценка содержания АБК в травянистых растениях, произрастающих на радиоактивно загрязненных территориях.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования были выбраны растения, принадлежащие к 4 семействам с различной радиочувствительностью, произрастающие на радиоактивно загрязненных территориях в 30-км зоне Чернобыльской АЭС: пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), водосбор обыкновенный (*Aquilegia vulgaris*).

Образцы отбирали с 3 экспериментальных и 2 контрольных участков, находящихся на территории Полесского радиационно-экологического заповедника (ПГЭРЗ) (Гомельская область, Республика Беларусь), загрязненной в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Мощность амбиентной дозы и плотность потока (ПП) α - и β -частиц на участках была оценена с помощью дозиметра МКС-02сa1.

Для анализа содержания АБК на каждом участке отбирали зеленые части растений, которые сразу же замораживали в жидком азоте до проведения анализа. Качественный и количественный анализ экстрактов осуществлялся на высокоэффективном жидкостном хроматографе Shimadzu LC-30 Nexera (Япония) с диодно-матричным детектором SPD-M20A (Shimadzu). Для разделения смеси веществ использовали аналитическую колонку с обращенной фазой C18 (Shim-pack XR-ODSII, 2 мкм, диаметр 3.0 мм, длина 100 мм, Shimadzu).

Экспериментальные данные анализировали, используя непараметрическую статистику с помощью программ Microsoft Office Excel 2003 и STATISTICA 6.0. Статистическую значимость отличий оценивали с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Результаты. Результаты нашего исследования продемонстрировали, что на загрязненных участках у растений, обладающих различной радиочувствительностью, обнаружены повышенные концентрации АБК. В неблагоприятных условиях АБК индуцирует экспрессию генов различных шоковых белков, задействованных в защите целостности клеточных структур от повреждений, вызываемых стрессовыми факторами. Таким образом, увеличение содержания АБК является одним из механизмов адаптации растений к хроническому радиационному воздействию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 18-34-20012).

СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ И МЕДИ НА РАСТЕНИЯ

И.С. Боднарь, Е.В. Чебан

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
bodnar-irina@mail.ru

Воздействие ионизирующего излучения при избытке тяжелых металлов в окружающей среде может приводить к различным реакциям у живых организмов. Изучение данной проблемы актуально при прогнозировании последствий совместного радиационного и химического загрязнения экосистем при авариях, утилизации отходов, функционировании и планировании работы производств, связанных с атомной энергией.

Целью данного исследования является изучение действия γ -излучения при избытке солей меди на лабораторную культуру ряски малой (*Lemna minor* L.). Ряска малая – однодольное покрытосеменное растение, широко распространенное в пресных водоемах, часто используется при в биотестировании поверхностных и сточных вод.

Материалы и методы. Лабораторную культуру ряски малой выращивали на среде Штейнберга. Облучение в дозах 18, 42, 63 Гр проводили на установке «Исследователь» (^{137}Cs) Института биологии ФИЦ КНЦ УРО РАН. После воздействия ионизирующего излучения растения помещали в среду с 3; 5; 6,3 мкмоль/л меди, полученной добавлением в раствор $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. На четвертый день воздействия измеряли уровень хлорофилла, каротиноидов, малонового диальдегида (МДА), через семь дней фиксировали удельную скорость роста, уровень повреждений и изменение площади листоподобной поверхности ряски.

Результаты. Ионизирующее излучение в данных дозах и медь в исследуемых концентрациях при раздельном действии приводили к линейному замедлению роста ряски. Анализ данных коэффициентов взаимодействия показал, что при их сочетании токсический эффект на удельную скорость роста растений суммировался, а при отдельных вариантах опыта, например, при 63 Гр и 5 мкмоль/л меди факторы взаимодействовали антагонистически. Ионизирующее излучение провоцирует перекисное окисление липидов мембран вследствие развития свободно-радикальных реакций. Медь является редокс-активным металлом, может напрямую участвовать в генерации активных форм кислорода. При совместном действии этих двух факторов происходило синергическое усиление уровня окислительного стресса, что детектировалось по концентрации МДА. Подобные реакции происходили при 5 мкмоль/л меди и γ -облучении в дозе 18 Гр, 3 мкмоль/л меди и 42 Гр.

Выводы. Совместное действие γ -излучения и солей меди на растения может приводить к нелинейным эффектам, наблюдаемым на организменном и биохимическом уровне.

ИЗУЧЕНИЕ АДсорбции, Транслокации и Дегградации ГЕРБИЦИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОУГЛЕРОДА

Бондарева Л.Г.

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора,
г. Мытищи, Россия

lydiabondareva@gmail.com

Сульфонилмочевины – соединения общей структуры $R_1-SO_2NHCONH-R_2$, где R_1 -ароматический и иные радикалы, R_2 – замещенный пиримидиновый или сим-тиазиновый остаток. Основной областью применения производных сульфонилмочевины является сельское хозяйство благодаря высокой гербицидной активности представителей этого класса. Они используются в основном для уничтожения сорных растений в посевах злаковых, льна, хлопка, арахиса и других культур.

Цель данного исследования - изучение процессов адсорбции, транслокации и метаболизма гербицидов класса сульфонилтиомочевин, на примере никосульфурона, с использованием меченных ^{14}C препаратов.

Материалы и методы. Для изучения дегградации никосульфурона использовали почвенные бактерии NSA02, выделенные из почвы и идентифицированные как *Pseudomonas nitroreducens*, для изучения адсорбции и транслокации никосульфурона использовали модельные системы почва-растения, в которых в качестве сорного растения были двухнедельные всходы *Sinapis arvensis* L., в качестве культурного растения – двухнедельные саженцы *Zea mays* L., 1753. В исследованиях использовали методы ВЭЖХ с диодно-матричным и масс-спектрометрическим детекторами, метод автордиографии и микробиологический BIOLOG. Все исследования проводились с использованием меченного ^{14}C препарата никосульфурона, содержащего 96,5 % действующего вещества и с активностью $^{14}C \sim 95$ кБк/г.

Результаты. Большая часть радиоактивности находится в почве, как в системах с растениями, так и без них (от 55 до 99,5 %). Отдельно анализировалась прикорневая часть почвы – ризосфера. Содержание радиоактивности в этой части примерно одинаково для систем с растениями в том числе и для сорных растений, при условии дегградации наземной части (от 20,5 до 22,5 %). Содержание ^{14}C в листьях варьируется от 9,3 до 11,4, при этом в листьях сорняков содержание выше. При совместном присутствии двух видов растений содержание ^{14}C в листьях сопоставимо с содержанием радиоизотопа в листьях *Sinapis arvensis* L., несмотря на то, что наблюдался интенсивный некроз всей листовой поверхности. В этом случае радиоактивный изотоп встроился в структуру листа, интенсивно воздействуя на клетки.

Установлены оптимальные условия дегградации никосульфурона *Pseudomonas nitroreducens* – 30 °C и pH 7,0. Кинетика биодегградации описывается уравнением первого порядка с коэффициентом регрессии 0,97. Биотрансформация никосульфурона *Pseudomonas nitroreducens* заключается в разрыве пиримидинового кольца и гибридизации сульфонилмочевинного мостика.

Выводы. Никосульфурон адсорбируется преимущественно почвой и в том числе ризосферой растений. Выявлено различие в воздействии препарата на сорные и культурные растения с преимуществом дислокации радиоизотопа в поверхность листовой пластины. Почвенные бактерии *Pseudomonas nitroreducens* NSA02 подвергают биодегградации никосульфурон, кинетика которой описывается уравнением первого порядка.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Отраслевой программы Роспотребнадзора – фундаментальные исследования: ААА-А18-118031390119-1.

БИОМОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ

А.Я. Болсуновский, Д.В. Дементьев, Е.А. Трофимова, А.В. Зуева
Институт биофизики СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия
radecol@ibp.ru

Многолетняя деятельность Горно-химического комбината (ГХК) Росатома привела к радиоактивному загрязнению экосистемы реки Енисей. Ранее проведенные радиоэкологические исследования гидробионтов реки Енисей выявили высокое содержание техногенных радионуклидов в биомассе организмов в районах вблизи расположения ГХК. Водные растения, повсеместно произрастающие в реке Енисей, наиболее активно накапливают техногенные радионуклиды и могут быть использованы для биомониторинга радиоактивного загрязнения.

Целью данного исследования является ретроспективная оценка уровня радиоактивного загрязнения реки Енисей методами биоиндикации и биотестирования

Материалы и методы. В работе представлены многолетние данные мониторинга содержания радионуклидов в экосистеме р. Енисей. Полученные данные по содержанию радионуклидов в пробах гидробионтов, а также в донных отложениях реки и воде использовали для расчета доз облучения. Для биоиндикации районов реки с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения использовали водное растение *Elodea canadensis*. Эффекты малых доз облучения гидробионтов за счет радиоактивных донных отложений и «горячих» частиц оценивали на лабораторных биотестах.

Результаты. По данным радиоэкологического мониторинга в пробах водных растений районов реки после сбросов ГХК регистрировали до 30 техногенных радионуклидов в период до остановки реактора ГХК (в 2010 году) и 5-11 радионуклидов – после остановки реактора. В других гидробионтах перечень техногенных радионуклидов был в несколько раз меньше. Впервые проведенный ретроспективный анализ доз облучения гидробионтов реки показал, что в период работы реакторов ГХК до 2010 года максимальные дозы облучения отдельных видов гидробионтов были близки к рекомендованному уровню мощности дозы (240 мкГр/сут.), вызывающего негативные эффекты. Многолетние данные биоиндикации районов радиоактивного загрязнения донных отложений реки с помощью водного растения элодея выявили многократное превышение фонового уровня цитогенетических нарушений клеток элодеи в районах как вблизи сбросов ГХК, так и на значительном удалении от ГХК по течению реки в период работы реактора ГХК. Этот факт свидетельствует о повышенной радиационной чувствительности элодеи. После остановки реактора ГХК повышенный уровень цитогенетических нарушений в клетках элодеи отмечен в местах аномального содержания радионуклидов в донных отложениях реки. Лабораторное биотестирование радиоактивных проб донных отложений реки с использованием растительных биотестов (элодея и *Allium*-тест) выявило ингибирование параметров роста и цитогенетических характеристик растений при малых дозах облучения. Радиоактивные частицы, обнаруженные в реке Енисей, являются источником γ -облучения гидробионтов. Малые дозы γ -облучения за счет радиоактивных частиц негативно влияли на параметры использованных растительных и бактериальных биотестов в лабораторных экспериментах.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии малых доз ионизирующего излучения на гидробионты реки Енисей в районах по течению реки от ГХК.

Работа выполнена при частичной поддержке Красноярского краевого фонда науки и РФФИ по проекту №18-44-240001.

ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУНКТА ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА НАСЕЛЕНИЕ

Ванина Е.А.^{1,2}, Лащенков С.М.¹, Алехнович А.В.², Сетейкин А.Ю.¹

¹Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды, предприятие ГК «Росатом»
ФГУП «РАДОН»

²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования
Министерства здравоохранения Российской Федерации
EAVanina@radon.ru

Современный статус Сергиево Посадской производственной площадки ФГУП "РАДОН" – пункт долговременного хранения радиоактивных отходов (РАО). Этот статус установлен согласно решению, принятому в 2014 году при проведении первичной регистрации РАО. До 2030 года необходимо определить, подлежат ли накопленные РАО извлечению и перемещению на другой объект с целью их бессрочной изоляции (захоронения), либо отходы могут быть безопасно захоронены на действующем участке. В соответствии с действующими правилами принятие такого решения должно основываться на оценках долговременных радиологических последствий каждого из двух вариантов – «извлечение и перемещение» или «захоронение на месте». Также проводится сравнительная стоимостная оценка вариантов.

Одна из актуальных задач, непосредственно связанных с указанными сравнительными оценками, состоит в разработке и накоплении данных о текущем уровне воздействия пункта хранения РАО на население. Задача решается не только путём измерения определённых показателей в ходе мониторинга объекта, но и с применением прогнозных расчётов.

Периодически проводятся исследования, направленные на изучение естественных поверхностных процессов и свойств геосферы, оценку динамики миграции радионуклидов в случае снижения изолирующих свойств сооружений. В отношении хранилищ РАО, действующих в течение 30 лет и более, проводятся процедуры продления срока их эксплуатации, которые начинаются с детального обследования состояния инженерных конструкций и геологической среды «ближнего поля» сооружений. Регулярно проводятся работы² по улучшению изолирующих свойств хранилищ, в частности, создание долгосрочных консервирующих покрытий.

В документах по обоснованию безопасности объекта приводятся расчёты по оценке дозовых нагрузок на население при нормальной работе объекта, а также при нарушениях нормальной работы. Данные радиационного контроля в районе расположения предприятия показывают, что при штатном режиме работы годовые выбросы ФГУП «РАДОН» не оказывают негативного воздействия на население и окружающую среду и не превышают значений разработанных нормативов ПДВ РВ ФГУП «РАДОН» в атмосферный воздух. Данные многолетнего мониторинга, обследования строительных конструкций сооружений, результаты расчётов с использованием математических моделей показывают приемлемый уровень радиационной безопасности пункта хранения РАО, несмотря на наличие старых сооружений, содержащих некондиционированные РАО. Факторов, свидетельствующих о недопустимой нагрузке ПХРО в отношении объёмов, суммарной и удельной активности РАО, не выявлено.

ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ РАСТЕНИЙ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ И МЕХАНИЗМЫ

С.А. Гераскин

ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

stgeraskin@gmail.com

В результате крупных радиационных аварий на Южном Урале в Чернобыле и на Фукусиме значительные территории были загрязнены радиоактивными выпадениями. Установленный в исследованиях многих авторов повышенный уровень мутагенеза в населяющих радиоактивно загрязненные территории популяциях растений и животных ставит вопрос о возможных последствиях для живой природы длительного облучения в малых дозах. Однако до настоящего времени отдаленные последствия хронического облучения для популяций растений и животных остаются предметом острых дискуссий в научном сообществе. В настоящем выступлении представлены основные результаты многолетних (2003-2016) наблюдений за популяциями сосны обыкновенной, населяющими контрастные по уровню и спектру радиоактивного загрязнения участки. Развивающиеся в условиях хронического облучения популяции характеризуются повышенными уровнями мутагенеза и полногеномного метилирования, изменениями экспрессии генов, генетической структуры популяции и временной динамики цитогенетических нарушений. Однако установленные изменения на генетическом уровне не отразились на активности ферментов в эндоспермах, частоте морфологических аномалий и репродуктивной способности сосны. Результаты нашего исследования свидетельствуют о высокой чувствительности популяций сосны обыкновенной к хроническому облучению. Значимые эффекты на генетическом уровне наблюдались на протяжении всего периода наблюдений и, видимо, будут наблюдаться еще длительное время. Поскольку изменения эпигенетического статуса и генетической структуры популяций видов-эдификаторов, к которым относится сосна обыкновенная, играют важную роль в формировании ответной реакции экосистемы в целом на радиационное воздействие, эти процессы необходимо учитывать при разработке программ, направленных на сохранение биоразнообразия в условиях хронического радиационного воздействия.

РОЛЬ МИГРАЦИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПОПУЛЯЦИЙ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ЗОНЕ ЛОКАЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Григоркина Е.Б.¹, Ракитин С.Б.¹, Оленев Г.В.¹, Тарасов О.В.²

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²ПО «Маяк», Озерск, Россия

grigorkina@ipae.uran.ru

Миграции – один из основных факторов устойчивости популяций, определяющий численность, синхронность популяционной динамики, локальное исчезновение и реколонизацию популяций.

Цель исследования – изучение роли миграций в формировании генетического разнообразия мелких млекопитающих в зоне локального радиоактивного загрязнения (Восточно-Уральский радиоактивный след, ВУРС) и на сопредельных территориях.

Материалы и методы. Для оценки миграций использованы методы массового мечения животного населения тетрациклином и родамином, а также радиоактивная метка – ^{90}Sr (пожизненный маркер принадлежности животного к зоне загрязнения). Все метки детектируются как системные: тетрациклин и ^{90}Sr – в скелете, родамин – в структурах, содержащих кератин (шерсть, когти, вибриссы). Генетическое разнообразие у красных полевок (*Clethrionomys rutilus*) из зоны ВУРС (плотность загрязнения почвы ^{90}Sr – $18.5 \text{ МБк/м}^2 = 500 \text{ Ки/км}^2$) и сопредельного фонового участка (дистанция 9300 м) сопоставлено на основе использования молекулярных маркеров (изменчивость локусов микросателлитной ДНК).

Результаты. Используемые методы мечения демонстрируют наличие мигрантов разной экологической и трофической специализации (грызуны, насекомоядные) из зоны загрязнения на сопредельные фоновые участки на разных фазах динамики численности. Выявлены также мигранты в обратном направлении. Оценка межпопуляционной генетической дифференциации, проведенная на основе дисперсии частот аллелей микросателлитных локусов (F_{st}), показала, что различия между импактной и фоновой выборками грызунов находятся на границе 5%-ного уровня значимости. Найдено увеличение некоторых параметров генетического разнообразия (число уникальных аллелей и показатель аллельного разнообразия) у полевок на сопредельной территории, обусловленное дисперсиями грызунов и конфигурацией импактной зоны (узкая протяженная полоса с резким падением уровня загрязнения).

Выводы. Данные показывают пространственную взаимосвязанность импактной и фоновой частей населения миграционными отношениями, что меняет генетический состав популяций за счет нерезидентов в обоих направлениях; свидетельствуют о переносе мигрантами биологических эффектов за пределы зоны локального радиоактивного загрязнения, что увеличивает генетическое разнообразие у животных на сопредельных территориях; иллюстрируют сложность микроэволюционных процессов у мелких млекопитающих в зоне влияния ВУРС и эффективность совместного использования экологических (оценка миграций) и генетических (микросателлитная ДНК) маркеров. Полученные результаты принципиально важны в свете представлений о механизмах быстрых преобразований популяций фоновых видов в антропогенно трансформированной среде и роли форпостных импактных группировок в расширении и изменении эволюционно-экологического потенциала сообществ (Васильев и др., 2018).

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИЭРиЖ УрО РАН и частично поддержана РФФИ (проект № 20-04-00164).

СТЕРИЛИЗУЮЩЕЕ И ЛЕТАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА НАСЕКОМЫХ – ВРЕДИТЕЛЕЙ ЗЕРНА

Г. А. Закладной

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна
и продуктов его переработки – филиал ФНЦ пищевых систем
им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия
vlaza@list.ru

Приведены результаты исследования реакции насекомых – вредителей хранящегося зерна на обработку их ионизирующими излучениями и создания промышленного радиационного дезинсектора зерна (РДЗ).

В опытах использовали имаго следующих основных вредных видов насекомых: амбарный долгоносик *Sitophilus granarius* L.; зерновой точильщик *Rhizopertha dominica* F.; булавоусый хрущак *Tribolium castaneum* Hrbst.; малый мучной хрущак *Tribolium confusum* Duv.; суринамский мукоед *Oryzaephilus surinamensis* L.

Стерилизующее действие ионизирующих излучений изучали путем облучения взрослых насекомых в разных дозах в пределах от 0,03 до 0,2 кГр, последующего содержания на пищевом субстрате при температуре 25 °С для откладывания яиц в течение до 30 суток и подсчета количества потомков первой генерации в сравнении с контролем.

Продолжительность жизни жуков оценивали после облучения их в разных дозах в пределах от 0,06 до 1,00 кГр посредством ежедневных подсчетов количества погибших насекомых.

Гамма облучение жуков – вредителей зерна вызывает половую стерилизацию особей в популяции, а также значительно сокращает продолжительность их жизни.

Скорость отмирания жуков после гамма-облучения в допустимой дозе 1,0 кГр незначительно увеличивается по сравнению с обработкой в стерилизующей дозе 0,2 кГр.

Скорость гибели жуков после гамма-облучения в дозе 0,2 кГр статистически не отличается от обработки их ускоренными электронами.

Впервые в мире радиационная дезинсекция зерна в промышленном масштабе реализована нами на Одесском портовом элеваторе, где в 1980 году введен в действие РДЗ на базе ускорителей электронов производительностью по зерну 400 т/ч. В течение 1980-91 гг. на РДЗ обработано свыше 2,0 млн. т импортируемого в судах зерна.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В БИОТЕ Р. ЕНИСЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА РАДИОАКТИВНЫХ СБРОСОВ

Т. А. Зотина, Д. В. Дементьев, Ю. В. Александрова

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

t_zotina@ibp.ru

Река Енисей загрязнена техногенными радионуклидами в результате многолетней работы Горно-химического комбината (ГХК). Техногенные радионуклиды накоплены в донных отложениях и пойменных почвах реки, а также зарегистрированы в гидробионтах, включая ихтиофауну. Из публично доступных источников известно, что с 2000 по 2018 гг. произошли значительные изменения в производственной деятельности ГХК, в частности, был остановлен последний реактор в апреле 2010 г., произошел запуск производства МОКС-топлива и др., что привело к качественным и количественным изменениям радиоактивных сбросов в р. Енисей. Для оценки биологических последствий радиоактивного загрязнения для водной биоты и экологических рисков для животных и населения, потребляющего рыбу, необходимо исследование динамики содержания техногенных радионуклидов в гидробионтах.

Целью данного исследования является оценка интенсивности снижения содержания техногенных радионуклидов в гидробионтах р. Енисей после остановки реакторного производства на ГХК и оценка индикаторной значимости отдельных представителей водной биоты для радиоэкологического мониторинга р. Енисей на основе анализа корреляции со сбросами радионуклидов.

Материалы и методы. Пробы гидробионтов собирали в р. Енисей на расстоянии около 5 км от места радиоактивных сбросов ГХК. Содержание γ -излучающих радионуклидов в пробах измеряли с помощью γ -спектрометра со сверхчистым германиевым детектором (Canberra, США).

Результаты. Содержания короткоживущих искусственных радионуклидов с индуцированной активностью имело тенденцию к снижению в пробах всех представителей биоты (водных растений, зообентоса, рыбы) после остановки реакторного производства на ГХК, тогда как содержание ^{137}Cs со временем не снижалось, что соответствует динамике сбросов радионуклидов в р. Енисей. На основе статистически значимых регрессий были оценены эффективные времена полувыведения ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{152}Eu из биоты. Была выявлена статистически значимая корреляция между содержанием ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{152}Eu и ^{137}Cs в отдельных представителях биоты Енисея и в ежегодных сбросах ГХК. В частности, содержание изотопов кобальта, цинка и европия в погруженных макрофитах имело положительную зависимость от содержания этих радионуклидов в радиоактивных сбросах; содержание ^{137}Cs в хариусе, ельце и амфиподах, которые накапливающих этот радионуклид трофическим путем, коррелировало с объемом ежегодных сбросов радионуклидов в реку.

Выводы. Проведенный анализ показал, что в период после остановки реакторного производства на ГХК до настоящего времени снижение содержания в биоте р. Енисей отмечено для короткоживущих радионуклидов активационного происхождения, а содержание ^{137}Cs достоверно не снижалось. Выявлена специфичность экологических групп гидробионтов к потоку отдельных радионуклидов в р. Енисей, обусловленная различными механизмами накопления радионуклидов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ и Красноярского краевого фонда науки No.18-44-240003.

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТА ^{137}Cs ПО ФЛОЭМЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*Pinus sylvestris* L.)

*А.Д. Карпов, В.В. Калнин, А.Н. Раздайков, А.И. Радин, Д.Ю. Ромашкин,
А.А. Белов, И.Ю. Горбунов*

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации
лесного хозяйства, Московская обл., г. Пушкино, Россия
info@roslesrad.ru

Радиоактивное загрязнение, вызванное радиационными авариями и инцидентами, привело к значительному загрязнению лесных экосистем. Задача получения нормативно чистой древесной продукции требует понимания процессов распределения радионуклидов в стволе дерева.

Целью настоящего исследования является изучение особенностей распределения концентрации цезия-137 в коре сосны обыкновенной.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования было отобрано модельное дерево сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесных культурах 30-летнего возраста, произрастающих в зоне радиоактивного загрязнения на юго-западе Брянской области (плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в корнеобитаемой зоне - 740 кБк/м²). Отбор проб коры проводился на отрезе ствола от корневой шейки до высоты 10 м фрагментами длиной 10 см и шириной, равной 1/8 от периметра ствола на уровне отбора пробы. Кора вместе с лубом отделялась от древесины, высушивалась до воздушно-сухого состояния, взвешивалась, измельчалась для получения однородной счётной пробы. Разделение на внешнюю и внутреннюю часть, отделение луба не проводилось. Измерение активности ^{137}Cs производилось на полупроводниковом гамма-спектрометре Гамма-1П с ПО SpectraLine. Проведен ретроспективный анализ хода роста. Проведена статистическая обработка полученных данных с использованием программного пакета Statistica-13.

Результаты. Выявлены периодические колебания значений удельной и общей активности ^{137}Cs в коре по высоте ствола. Выявленная периодичность носит гармонический синусоидальный характер. Колебания имеют вид группового солитона.

Выводы. Наличие радионуклида ^{137}Cs в лесной экосистеме позволяет использовать его как радиометку для изучения транспортных процессов в растениях. Установленные характеристики обнаруженных концентрационных волн могут лежать в основе механизмов, обеспечивающих флоэмный транспорт.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ, ЗАГРЯЗНЕННЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

В.Н. Клочков, В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна

ФМБА России, Москва, Россия

vnklochkov22@mail.ru

Цель данного исследования состоит в определении радиационно-гигиенических и экологических критериев при обращении с промышленными отходами, загрязненными радиоактивными веществами.

Материал и методы. В настоящее время практически отсутствует нормативно-правовая база регулирования деятельности по обращению с промышленными отходами, загрязненными радиоактивными веществами (обычно сокращенно называют ОНАО), к которым относятся отходы, имеющие удельную активность ниже критериев отнесения к радиоактивным веществам (РАО), но выше критериев, при которых допускается неограниченное использование твердых материалов. Проведены расчеты периода потенциальной опасности промышленных отходов, загрязненных радиоактивными веществами в зависимости от содержащихся в них радионуклидов.

Результаты. Верхней границей удельной активности ОНАО для различных нуклидов являются значения критериев отнесения к РАО, установленные постановлением Правительства России от 19.10.2012 № 1069. Нижней границей удельной активности ОНАО являются значения удельной активности техногенных радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование твердых материалов и металлов, приведенные в Приложениях 3 и 4 к ОСПОРБ-99/2020 (в ред. Изменений № 1 от 16.09.2013 № 43).

Всего в указанных документах критерии установлены для 297 нуклидов. Анализ показывает, что при установлении критериев отнесения к ОНАО из этого списка нуклидов целесообразно исключить радиоактивные благородные газы и калий-40, которые не подлежат захоронению. Также следует исключить нуклиды с периодом полураспада менее 1 года, т.к. за сравнительно небольшой период времени (10 лет) в результате естественного распада их удельная активность снизится более, чем на 3 порядка, и эти среды перейдут в категорию неограниченного использования.

В итоге показано, что критерии отнесения к ОНАО целесообразно установить для 63 нуклидов, к которым относятся:

- нуклиды наведенной активности: ^3H , ^{14}C , ^{22}Na , ^{36}Cl , ^{53}Mn , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{60}Co , ^{59}Ni , ^{63}Ni ;
- продукты ядерного деления: ^{90}Sr , ^{93}Zr , $^{93\text{m}}\text{Nb}$, ^{94}Nb , ^{93}Mo , ^{97}Tc , ^{99}Tc , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{109}Cd , ^{125}Sb , ^{129}I , ^{134}Cs , ^{135}Cs , ^{137}Cs , ^{144}Ce , ^{147}Pm , ^{151}Sm , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{171}Tm ;
- некоторые тяжелые нуклиды: ^{204}Tl , ^{207}Bi , ^{226}Ra ;
- изотопы тория, урана и трансурановых элементов: ^{229}Th , ^{232}Th , ^{232}U , ^{233}U , ^{234}U , ^{235}U , $\text{U}_{\text{природный}}$, ^{236}Pu , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , ^{244}Pu , ^{241}Am , $^{242\text{m}}\text{Am}$, ^{243}Am , ^{244}Cm , ^{245}Cm , ^{246}Cm , ^{247}Cm , ^{248}Cm , ^{249}Bk , ^{248}Cf , ^{249}Cf , ^{250}Cf , ^{251}Cf , ^{252}Cf .

Для предотвращения угрозы населению и окружающей среде захоронение (долговременное хранение) ОНАО целесообразно осуществлять вблизи мест их образования, в частности, на территории промплощадок радиационных объектов, как это предусмотрено для очень низкоактивных радиоактивных отходов в соответствии с распоряжением Правительства России от 07.12.2015 № 2499-р.

Заключение. Результаты выполненной работы позволяют обосновать требования обеспечения радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами, загрязненными радиоактивными веществами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ РАДИОЛИЗА В ОБЛУЧЕННОЙ ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

*Я. М. Курбангалеев, К. Н. Вагин, Н. М. Василевский, Г. И. Рахматуллина,
Р. В. Нефедова*

Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Россия

yag72@ya.ru

Известно, что в облученных продуктах обнаруживаются вторичные продукты радиолитиза – радиотоксины аналогично тому, как во внутренних органах и тканях облученных животных. Предыдущими нашими исследованиями была показана возможность определения радиотоксинов в организме облученных животных с помощью реакции непрямой гемагглютинации (РНГА). Для определения безопасности облученных продуктов и уровня использованных при этом доз необходимо знать динамику накопления и естественной инактивации радиотоксинов (РТ) в определенные сроки после облучения и установить предельно допустимые концентрации продуктов радиолитиза.

Исходя из вышеизложенного, разработка высокочувствительных методов, позволяющих определять в облученных продуктах незначительные количества РТ на фоне других биологически активных химических соединений, представляет одну из актуальных задач радиобиологии.

Целью настоящих исследований явилось – испытание РНГА для определения интенсивности образования вторичных продуктов радиолитиза в облученной продукции сельского хозяйства.

Материалы и методы. Для проведения исследований продукты растительного и животного происхождения подвергались гамма-облучению на установке «Исследователь». Мощность поглощенной дозы составила 1,75 Гр/сек. Хиноидный радиотоксин (ХРТ) получали по методике С.К.Мельниковой и В.А.Копылова (1966).

Результаты. Установлено, что при дозах, применяемых в радиационной биотехнологии по удлинению сроков хранения картофеля (0,05-0,15 кГр), титры колебались в пределах 1:8-1:74,7; лука (0,05-0,1 кГр) - от 1:10,7 до 1:85,3 в течение 3-30 суток после облучения. С повышением дозы до 0,8 кГр титры ХРТ в картофеле и луке в первые 15 суток после облучения повышались на 1-2 разведения. В зерне пшеницы и овса, облученных в оптимальных инсектицидных дозах (0,3 – 0,7 кГр), этот показатель составлял 1:6,7-1:37,3 при 1:0,7-1:2 в контрольной продукции.

Титры радиотоксинов зерне в период 2-21 суток после облучения для стерилизации от спор грибов в дозе 25 кГр колебались в пределах 1:21,3-1:53,3 с максимумами на 7-21 сутки при 1:0,7-1:2 в необлученном зерне. Титры радиотоксинов в мясе (баранине и говядине), облученном в дозах 10 и 20 кГр, составляли 1:6,7-1:26,7 в течение 3-30 суток после облучения с максимумами на 7-14 сутки. Во внутренних органах (печень) уровни ХРТ были выше на 1-2 разведения, чем в мясе.

Повышенный уровень ХРТ в указанных облученных продуктах регистрировался в течение первых 45 суток после облучения. На 60 сутки титры этих радиотоксинов во всех облученных продуктах были на уровне контроля и не превышали 1:0,7-1:3,3.

Выводы. Облучение продуктов животноводства и растениеводства в дозах, необходимых для удлинения сроков хранения, для предупреждения прорастания и гниения, или для деконтаминации кормов от естественной микрофлоры и насекомых приводит к повышению в них содержания радиотоксинов с максимумами на 7-15 сутки. При этом титры радиотоксинов в РНГА зависят от вида продукции, дозы облучения и сроков хранения продуктов после облучения.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ

Д. Н. Лунатов, А. И. Щеглов, С. В. Мамихин

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
dlip@soil.msu.ru

В лесных фитоценозах значительное влияние на поведение радионуклидов оказывают биогеохимические и почвенные процессы. Тяжелые естественные радионуклиды характеризуются низкими коэффициентами биологического поглощения растениями: Ra-226 – 0,01–0,24, Th-232 – 0,001–0,03. Одной из важных задач экологии является изучение взаимосвязи растительных сообществ и радиационных показателей в природных средах. **Цель** данного исследования – анализ распределения Ra-226 и Th-232 в профилях серой лесной почвы под различными фитоценозами.

Материалы и методы. Исследования проводились в 60-летних дубовых (*Quercus robur* L.) и березовых (*Betula pendula* Roth) фитоценозах на лесной территории площадью 0,1 х 0,1 км в Плавском районе Тульской области. В разрезах описана темно-серая лесная среднесуглинистая глубоковскипающая почва на карбонатном покровном суглинке. Почвенный пробоотбор выполнялся по всем горизонтам с шагом 10 см до глубины 160 см. Измерение удельной активности Ra-226 и Th-232 в пробах почвы проводилось на сцинтилляционном гамма-спектрометре с детектором NaI(Tl).

Результаты. В почве дубравы зафиксировано увеличение удельной активности Ra-226 до 38–40 Бк/кг и Th-232 до 50 Бк/кг в верхнем слое горизонта А (0–10 см), сопряженное с накоплением гумуса и аккумуляцией биофильных элементов. Коэффициент накопления Ra-226, рассчитанный как отношение его удельных активностей в поверхностном горизонте и почвообразующей породе, составил 1,5. В горизонте АВ (30–40 см) отмечено локальное увеличение удельной активности Ra-226, обусловленное его мобильностью в составе органических кислот и их осаждением в нижней части гумусовой толщи. Для почвы березняка накопление Ra-226 в верхних горизонтах слабо выражено, что связано с низким содержанием гумуса и меньшей емкостью биологического круговорота. Важным фактором, определяющим распределение Ra-226 в почвах, является расположение корневых систем древесной растительности. Дубравы, обладающие высокой биологической продуктивностью и глубокими корневыми системами, интенсивнее поглощают из почвы химические элементы, в том числе Ra-226. Глубокое проникновение корневых систем деревьев приводит к усилению биогенной миграции в средних и нижних горизонтах почв.

В почве березняка отмечен вынос Th-232 из горизонта А(АЕ) (10–20 см), связанный с развитием оподзоливания, и его накопление в нижележащем горизонте АВ. В почве дубравы такой вынос Th-232 прослеживается из верхней части горизонта АВ и слабо выражен. Состав органических кислот, образующихся при разложении опада и корневых остатков берез, способствует развитию оподзоливания. Накопление Th-232 отмечено также в горизонте В1 почвы березняка. В нижележащих горизонтах В2, В3, ВС_{Ca} (на глубинах 70–150 см) удельная активность Th-232 по профилям обеих почв выравнивается и составляет 45–50 Бк/кг, что является уровнем геохимического фона для почвообразующей породы. В средней и нижней частях почвенных профилей корневые системы деревьев не оказывают влияния на распределение Th-232.

Выводы. В почве дубравы увеличение удельной активности Ra-226 и Th-232 в поверхностном горизонте А (0–10 см) сопряжено с накоплением гумуса и аккумуляцией биофильных элементов. В почве березняка развитие процесса оподзоливания сопровождается выносом Th-232 из горизонта А(АЕ) (10–20 см).

Работа частично выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-04-00584 А).

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХВОИ ВТОРОГО ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Е.С. Макаренко

ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

makarenko_ek_obninsk@mail.ru

Отдаленные последствия аварийных выбросов АЭС на живые организмы в природных условиях являются одним из основных вопросов в радиобиологии. Сосна обыкновенная внесена в список референтных растений, рекомендованных Международной комиссией по радиационной защите для проведения оценки радиационного воздействия на окружающую среду.

Целью работы являлась оценка морфометрических показателей хвои у второго поколения сосны обыкновенной из 30-км зоны Чернобыльской АЭС.

Материалы и методы. Исследовали саженцы сосны обыкновенной, произрастающие в условиях естественного радиационного фона, родители которых произрастали в условиях хронического радиационного воздействия, проросшие самосевом от родительских популяций, получивших дозовые нагрузки на 01.06.1986 г. 4-5, 10-20 и 80-100 Гр. Для анализа длины, массы, индекса флуктуирующей асимметрии отбирали однолетнюю хвою в 2011-2018 гг. (по 10-20 пар хвоинок с каждого дерева). В контроле проанализировано 28-32 деревьев, второе послеаварийное поколение представлено 30-33 растениями.

Для определения значимости отличия от контроля использовали критерий Манна-Уитни (*U*-тест).

Результаты. Обнаружено, что во все года исследования, за исключением 2011 г. (в 2010 г. растения были пересажены), у потомков, независимо от облучения родительского поколения в 1986 г., длина и масса хвои были значимо выше ($p \leq 0,001$) контрольной группы. Данные результаты могут быть проявлением одного из типичных радиоморфозов – гигантизма хвои. В 1987 г. интенсивный рост хвои сосны обыкновенной был отмечен у растений, подвергшихся воздействию доз от 3-4 до 8-10 Гр. Однако, достаточно вероятно, что это связано не с радиационным фактором, а с локальными условиями произрастания.

По результатам определения индекса флуктуирующей асимметрии по длине и массе хвои значимого отличия от контрольного уровня не обнаружено.

Заключение. Таким образом, результаты данной работы показали, что у второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной не наблюдается угнетения роста хвои и нарушения стабильности развития, оцениваемого по индексу флуктуирующей асимметрии.

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ И ТЕМНО-СЕРОЙ ПОЧВАХ

Д.В. Манахов, Д.Н. Липатов, Г.И. Агапкина
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
dman@soil.msu.ru

Изучение форм нахождения радионуклидов в почвах позволяет оценить их доступность растениям и подвижность при миграции в сопредельные среды.

Целью настоящей работы стало изучение подвижных форм нахождения ^{226}Ra , ^{238}U и ^{232}Th в лесных почвах Центральной России.

Материалы и методы. Изучение форм нахождения радионуклидов в дерново-подзолистой (Московская обл.) и темно-серой (Пензенская обл.) почвах проводили методом последовательной экстракции Ф.И. Павлоцкой. Из навески почвы последовательно извлекали подвижные фракции: водорастворимую, обменную и собственно подвижную. Концентрации ^{232}U и ^{232}Th определяли непосредственно в вытяжках на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой. Активность ^{226}Ra определяли трехкратным измерением суммарной альфа-активности препаратов BaSO_4 на альфа-радиометре с сцинтилляционным детектором $\text{ZnS}(\text{Ag})$. Значение активности ^{226}Ra рассчитывали с учетом распада и накопления дочерних продуктов распада изотопов радия.

Результаты. В обеих исследованных почвах тяжелые естественные радионуклиды формируют следующий ряд по содержанию подвижных форм: $^{226}\text{Ra} > ^{238}\text{U} > ^{232}\text{Th}$. При этом в дерново-подзолистой почве профильное распределение всех трех радионуклидов имеет элювиально-иллювиальный характер. В составе подвижных соединений ^{226}Ra наибольшую роль играет обменная фракция, доля которой вниз по профилю возрастает. На втором месте – собственно подвижная фракция. Среди подвижных фракций ^{238}U наибольшую роль по всему профилю играет собственно подвижная, доля которой возрастает вниз по профилю. Для ^{232}Th в верхней и средней частях профиля невелика роль подвижных фракций, только в иллювиальном горизонте их доля возрастает. В темно-серой почве при сохранении элювиально-иллювиального характера распределения ^{226}Ra сумма его подвижных фракций выше, чем в дерново-подзолистой. Ведущую роль в темном гумусовом горизонте среди подвижных фракций играет собственно подвижная, вниз по профилю возрастает доля обменной фракции ^{226}Ra . Сумма подвижных фракций ^{232}Th в темно-серой почве также выше, чем в дерново-подзолистой, а характер распределения по профилю – элювиально-иллювиальный. Наибольшие различия между почвами наблюдаются в поведении ^{238}U . В темно-серой почве сумма подвижных фракций ^{238}U выше, чем в дерново-подзолистой, причем распределение по профилю имеет равномерно-аккумулятивный характер. Ведущую роль в составе подвижных соединений ^{238}U в обоих типах почв играет собственно подвижная фракция.

Заключение. Выявленные различия в поведении естественных радионуклидов в исследованных почвах обусловлены влиянием ряда почвенных характеристик, способствующих формированию их подвижных форм: большей емкостью катионного обмена и большим содержанием органического вещества в темно-серой почве по сравнению с дерново-подзолистой. На поведение ^{238}U , также оказывает влияние менее кислая реакция среды, что приводит к его большей подвижности в темно-серой почве по сравнению с дерново-подзолистой.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-04-00584 А).

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПОЧВАХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Михайловская Л.Н., Позолотина В.Н.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

mila_mikhaylovskaya@mail.ru

Основные источники радиоактивного загрязнения территории Урала включают глобальные радиоактивные выпадения из атмосферы, штатные выбросы ядерных предприятий, крупнейшие из которых ПО «Маяк», Белоярская АЭС (БАЭС) и Институт реакторных материалов (ИРМ). Наибольший вклад в загрязнение внесли чрезвычайные, аварийные ситуации, связанные с деятельностью ПО «Маяк». Кыштымская авария 1957 г. привела к формированию Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа). Сбросы в р. Течу, вызвали загрязнение всех компонентов экосистемы, включая пойму.

Цель исследования – сравнительное изучение пространственного распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах Уральского региона, загрязненных из разных источников.

Материал и методы. Исследования проводили на территории Южного и Среднего Урала в зонах наиболее крупных ядерных предприятий: ПО «Маяк» (включая ВУРС), БАЭС и ИРМ. Почвы отбирали на реперных участках методом треугольника до глубины 40-50 см. ^{137}Cs определяли спектрометрическими методами, а ^{90}Sr радиохимическими, используя сертифицированные методики.

Результаты. Максимальные уровни загрязнения почв в Уральском регионе обнаружены в головной части ВУРСа, основным загрязнителем ^{90}Sr ($\sim 10^7$ Бк/м²); в пойме р. Течи и Ольховском болоте, загрязненном жидкими сбросами БАЭС и ИРМ, основным загрязнителем ^{137}Cs ($\sim 10^6$ Бк/м²). На автоморфных ландшафтах ВУРСа плотность загрязнения почв радионуклидами по мере удаления от источника загрязнения снижается согласно экспоненциальному закону, в зонах жидких сбросов – в соответствии со степенной функцией.

В наблюдаемых зонах предприятий, работающих в штатном режиме, и за их пределами уровни загрязнения почв газоаэрозольными выбросами часто превышают уровень глобального фона в 1.5-3.0 раза. Влияние жидких сбросов в первую очередь отражается на уровнях загрязнения радионуклидами почв транс-аккумулятивных ландшафтов, плотности загрязнения почв здесь на 1–3 порядка величин больше, чем элювиальных. Независимо от источника загрязнения, минимальные величины отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ отмечены в часто затопляемых почвах береговой зоны водоемов. Это обусловлено процессами самоочищения субаквальных почв, проявляющимися в разной степени для ^{90}Sr и ^{137}Cs . Водный режим определяет также и вертикальное распределение радионуклидов в почвах. На автоморфных ландшафтах основное количество радионуклидов (86–99 %) находится в 0–20 см слое почв, в гидроморфных почвах в этом слое содержится ~ 40 –80% ^{90}Sr и ~ 50 –98% ^{137}Cs .

Выводы. Многолетняя деятельность ядерных предприятий на Урале привела к формированию повышенного регионального фоновое уровня загрязнения почв ^{90}Sr до 1.6–3.0 кБк/м², ^{137}Cs – до 4.6–6.8 кБк/м². Пространственное распределение радионуклидов в почвах определяется ландшафтно-геохимическими особенностями территории, путями поступления радионуклидов и водным режимом почв. Радионуклиды, поступившие в автоморфные почвы более 60 лет назад, все еще удерживаются в верхнем 20 см слое. В условиях высокого увлажнения скорость и глубина миграции увеличивается, причем ^{90}Sr , как правило, подвижнее ^{137}Cs .

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № АААА-А19-119032090023-0.

**РАСЧЕТ ДОЗ ДЛЯ ЭМБРИОНОВ ЧАЙКИ СЕРЕБРИСТОЙ,
ГНЕЗДЯЩЕЙСЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОМ ВОДОЕМЕ
В-11 ПО «МАЯК»**

Н.И. Могильникова, Е.А. Шишкина, Ю.Г. Ламехов

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

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

³Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,
Челябинск, Россия
al_tary@mail.ru

Птицы являются важным компонентом пресноводных экосистем и представляют собой удобный объект для радиобиологических и радиоэкологических исследований.

Целью данной исследовательской работы являлось определение содержания радионуклидов в различных органах и тканях эмбрионов чайки серебристой и расчет доз на эмбрион.

Материалы и методы. В 2015 гг. были отобраны 18 яиц из гнезд чайки серебристой (*Larus argentatus*), обитающей на радиоактивно-загрязненных водоемах Теченского каскада. Яйца отбирались на завершающей стадии эмбрионального развития. Радиохимическим методом определяли содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в скорлупе яйца, печени, сердце, головном мозге, мышцах, большой берцовой кости, желточном мешке эмбрионов. Содержание ^{137}Cs определялось на установке с детектором ДГДК-80В-3 и анализатором LP-4900В фирмы Nokia. Концентрация ^{90}Sr в пробах определялась посредством радиохимического выделения ^{90}Y с последующим измерением его активности на β -метрической установке УМФ-2000 и плазменно-фотометрическим контролем выхода носителя ^{90}Sr . Дозы от ^{90}Sr рассчитывались на основе специально разработанной биокинетической модели, дозы от ^{137}Cs рассчитывались в приближении равномерного распределения радионуклида. Дозиметрическое моделирование транспорта излучений осуществлялось в программе MCNP6 с использованием специально разработанной геометрической модели яйца для 4-х этапов развития.

Результаты. Распределение ^{137}Cs в органах и тканях эмбрионов было равномерным и в среднем составляло 4.2 ± 0.7 кБк/кг сырой массы. Наибольшая удельная активность ^{90}Sr была в скорлупе яиц и составляла 700 ± 100 кБк/кг сырой массы. Удельная активность ^{90}Sr в костях эмбриона, желточном мешке, и в мягких тканях (печень, сердце, мышцы) было равно 118 ± 21 , $19 \pm 4,7$ и 1.9 ± 0.4 кБк/кг сырой массы, соответственно. Геометрическая модель яйца с эмбрионом представляла собой комбинацию эллиптических поверхностей и плоскостей, определяющих 5 компартментов: скорлупу; воздушную камеру; эмбрион; желток и белок. Модель была построена для 4-х стадий развития эмбриона чайки: 0 - 4 дней; 5 - 11 дней; 12 - 17 дней; 18 - 22 дней. На основании литературных данных о содержании Са в компонентах яиц птиц была сформулирована биокинетическая модель, представляющая собой динамику перераспределения ^{90}Sr между компартментами в ходе развития эмбриона.

Выводы. В среднем, мощность дозы на эмбрион чаек, обитающих на радиоактивно-загрязненных водоемах Теченского каскада, на 1-м этапе развития составила 0,23 мГр/сут; на 2-м этапе - 0,61 мГр/сут; на 3-м этапе - 0,5 мГр/сут и на 4-м этапе - 0,94 мГр/сут. Поглощенная доза на эмбрион за 22 дня инкубации составила 13,1 мГр. Полученные результаты будут использованы для определения закономерностей доза-эффект у эмбрионов чайки серебристой, гнездящейся на радиоактивно-загрязненных водоемах.

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И СВИНЦА НА МИКРОФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО

А. А. Празян, С. В. Битариевили, Е. С. Макаренко

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия
prazyana@yahoo.com

Одними из главных компонентов техногенного загрязнения, представляющих опасность для живых организмов, являются тяжелые металлы и радионуклиды. Более 250 тыс. га сельскохозяйственных угодий имеют уровень техногенного загрязнения в 10-100 раз выше фонового. Ареалы распространения техногенных выбросов вокруг промышленных предприятий охватывают площадь 18 млн. га. Площадь загрязненной тяжелыми металлами почвы составляет 3.6 млн. га.

В ходе развития растения подвергаются влиянию комбинаций разных экологических факторов, отличающихся по происхождению, токсичности и механизмам действия. В связи с этим особый интерес вызывает изучение сочетанного действия факторов разной природы. В нашем исследовании изучено сочетанное действие ионизирующего излучения и свинца на прорастание семян ячменя, так как это один из важнейших этапов в развитии растения.

Целью данного исследования является оценка влияния сочетанного действия гамма-излучения и свинца на динамику развития семян ярового ячменя.

Материалы и методы. Для исследования были использованы семена ярового ячменя сорта Нур (*Hordeum vulgare* L.) первой репродукции 2019-го года. Прорастание оценивали на протяжении 85 часов, с детальным наблюдением с 18 по 70 час.

Облучение семян проводили на установке “ГУР-120” (^{60}Co) (ВНИИРАЭ, Обнинск). Для определения влияния тяжелых металлов в эксперименте использовалась соль $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Все концентрации пересчитывались на ионы Pb^{2+} .

Для исследования были выбраны четыре экспериментальных варианта. Контрольная и облученная в дозе 20 Гр группы семян, которые прорастали в дистиллированной воде в объеме 7 мл. Группа семян в том же объеме воды, но с добавлением свинца в концентрации 2 мг/мл. А также группа семян (Pb^{2+} +20 Гр), которая подверглась сочетанному действию гамма-облучения и свинца в аналогичной дозе и концентрации.

Всего исследовано 800 семян, по 200 семян на каждый вариант эксперимента. Семена проращивали в чашках Петри без постоянной подачи воды на двойном слое фильтровальной бумаги («БЕЛАЯ ЛЕНТА», Россия). Прорастание происходило в темноте, при $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$, в термостате MIR-254 (Sanyo, Япония).

Для оценки микрофенологических фаз прорастания семян (МФФ ПС) использовалась методика Казаковой (Казакова, Козяева. Шкала микрофенологических фаз прорастания семян ярового ячменя. Сельскохозяйственная биология, 2009, 3).

Результаты. Отдельное воздействие ионизирующего излучения в дозе 20 Гр не оказало значительного влияния на развитие семян, тогда как загрязнение свинцом замедлило его. При совместном воздействии излучения и свинца на семена наблюдалось статистически значимое увеличение доли проросших семян на отдельных стадиях, по сравнению с группой под воздействием только свинца. Все семена, прошедшие фазу «точка», достигли конечного этапа развития, но в разное время.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что действие гамма-излучения может оказывать нивелирующее действие на отрицательное влияние свинца на разных этапах прорастания.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН *ARABIDOPSIS THALIANA* НА ДИНАМИКУ ПРОРАСТАНИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ

М.Ю. Подобед, Д.Д. Бабина, Е.В. Бондаренко, М.С. Подлуцкий, А.С. Миценок, П.Ю. Волкова

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия
podobedmyu@gmail.com

Ионизирующее излучение (ИИ) способно выбивать электроны из атомов или молекул, окисляя их и приводя к возникновению активных форм кислорода (АФК). Сигналы АФК интегрированы в сигнальную систему «стрессовых» фитогормонов, в частности абсцизовой кислоты (АБК), что частично объясняет проявление стимулирующего эффекта при облучении семян низкими дозами гамма-излучения.

Цель работы. Сравнительный анализ влияния ИИ на динамику прорастания и морфологические показатели проростков *Arabidopsis thaliana*, выращенных из облученных семян дикой и АБК-мутантных линий.

Материалы и методы. Для анализа были выбраны семена дикого типа (Col-8) и семена мутантных линий *abi3-8* (дефектная по АБК-сигналингу) и *aba3-1* (дефектная по синтезу АБК). Семена подвергали гамма-облучению в дозах 50, 100 и 150 Гр (мощность 463 Гр/ч, источник ^{60}Co , ФГБНУ ВНИИРАЭ). После облучения семена стратифицировали и выращивали в режиме длинного дня (16 ч/8 ч) при 21 °С и интенсивности освещения 80 мкмоль/м²с.

Для оценки динамики прорастания количество проросших семян подсчитывали в течение 5-ти суток и по полученным данным вычисляли значения индекса прорастания. Семя считали проросшим после разрыва семенной кожуры и появления первичного корешка. В качестве морфологических показателей были выбраны площадь поверхности листьев и биомасса. Площадь поверхности листьев определяли для 11-суточных проростков с помощью программного обеспечения Easy Leaf Area. Для определения биомассы 16-ти суточных проростков использовали аналитические весы РА213С (Ohaus). В процессе анализа вычисляли среднюю площадь листьев одного растения и среднюю массу одного проростка. Анализ данных проводили с использованием подходов непараметрической статистики в программах Statistica 8.0 и Microsoft Office Excel 2019.

Результаты. Было выявлено, что у проростков всех линий статически значимо снижались значения биомассы и площади поверхности листьев относительно контроля при дозах облучения 100 и 150 Гр. Также статистически значимые различия были получены при анализе динамики прорастания. При облучении в дозе 50 Гр семена линии *abi3-8* прорастали быстрее необлученных в первые часы наблюдений, а семена дикого типа Col-8 при дозе 150 Гр прорастали медленнее необлученного контроля. Индекс прорастания показал общее для всех линий статистически значимое снижение значений с увеличением дозы ($b = -0,96$; $p = 1 \cdot 10^{-6}$). Для мутантной линии *aba3-1* индекс прорастания у контрольных необлученных растений был выше, чем для необлученных растений дикого типа и мутантов линии *abi3-8*.

Заключение. В данной работе была оценена радиочувствительность семян мутантных линий *A. thaliana*, различающихся по содержанию АБК и чувствительности к ней, и выявлена важная роль сигналинга абсцизовой кислоты в ответе *A. thaliana* на гамма-облучение, в том числе выражающаяся в зависящем от дозы и генотипа ускорении прорастания семян.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СОСНЯКОВ ЮГО-ЗАПАДА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.Н. Раздайков, В.В. Калнин, В.М. Сидоренков, Д.О. Астапов, А.И. Радин,
Д.Ю. Ромашкин, А.А. Белов, А.Д. Карпов, И.Ю. Горбунов, Р.К. Поляков*

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации
лесного хозяйства, Московская обл., г. Пушкино, Россия

info@roslesrad.ru

Радиационное загрязнение вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и других ядерных инцидентов привело к значительному загрязнению лесных экосистем. Особенности осуществления лесохозяйственной деятельности в зонах радиоактивного загрязнения требуют достоверной информации о его современных уровнях.

Целью данного исследования является изучение возможности использования данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для оценки радиоактивного загрязнения лесов.

Материалы и методы. В полевой сезон 2019 г. было проведено наземное обследование 30-и участков наземного радиационно-экологического наблюдения в сосновых лесах юго-западных районов Брянской области. Выбирались, преимущественно, припевающие, спелые и перестойные насаждения с долей сосны обыкновенной в основном ярусе не менее 9 единиц, расположенные на равнинных или слабовсхолмленных участках. Плотность загрязнения участков цезием-137 в результате аварии на ЧАЭС находится в диапазоне от 69 до 3088 KBq/m². На каждом участке проводилась закладка круговых реласкопических лесотаксационных площадок для определения характеристик насаждений (Определение состава насаждения и полноты по ярусам, средних высот, диаметров, запаса древесины, бонитета, описание напочвенного покрова, определение типа леса и лесорастительных условий), измерение МЭД, отбор проб почвы и древесины для радиоспектрометрического анализа. С помощью GNSS-приемника (GPS/ГЛОНАСС) проводилось определение географических координат центров площадок. Содержание цезия-137 в отобранных пробах почвы и древесины определялось на гамма-спектрометре «Гамма-1П» с детектором из особо-чистого германия. Полученные данные сведены в базу данных, объединенную с материалами космической съемки «Sentinel-2» 2018-2019 гг. Проведен статистический анализ связей данных наземных наблюдений с интенсивностью спектральных каналов спутниковых изображений, полученных в разные сезоны года.

Результаты. Установлена достоверная статистическая связь между плотностью загрязнения почвы и интенсивностью следующих каналов спутниковых изображений: 1 (0,44 мкм - синий), 11, 12 (1,61 и 2,19 мкм - тепловые). Предложена биологическая модель.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности использования ДДЗ для оценки загрязнения сосняков в зоне хвойно-широколиственных лесов цезием-137 чернобыльского происхождения.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВСЛЕДСТВИЕ ДОБЫЧИ РАДИЯ

Н.Г.Рачкова, Л.М.Шапошникова

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

rachkova@ib.komisc.ru

Проблема радиоактивного загрязнения для России обусловлена не только аварийными ситуациями и проведением ядерных взрывов, но и негативным наследием бывших радиохимических производств. Актуальность оценки его влияния на радиоэкологическую обстановку определяется необходимостью безопасного обращения с радиоактивными отходами (РАО) и выбора технологий восстановления нарушенных территорий.

Цель исследования состояла в оценке эффективности реабилитации северотаежных территорий Республики Коми, загрязненных вследствие добычи радия из подземных минерализованных вод.

Материалы и методы. Анализ результативности мероприятий реабилитации основан на собственных долговременных наблюдениях периода 1981 - 2019 гг. с использованием литературных данных о динамике миграции и распределения радия-226 в компонентах водных и наземных экосистем. В качестве объектов исследования выбраны дезактивированная территория пойменно-террасового типа, загрязнение которой обусловлено долговременным хранением в приповерхностной среде твердых РАО, а также площадка бывшего химического завода, загрязненная вследствие разлива радиоактивных подземных вод на поверхности дерново-луговой почвы. Исследованы закономерности, характерные для 3 этапов дезактивации: насыпным методом (1962 гг.), в период естественной дезактивации (самоочищения) почв (1981 - начало 2000-х гг.), способом консервации РАО (2015 гг.).

Результаты. Подтверждено, что насыпной метод дезактивации, состоящий в погребении РАО и загрязненного грунта под полуметровым слоем песчано-гравийной смеси, позволяет в 3 раза снизить радиационный фон на территориях, но эффективен в течение короткого (примерно пятилетнего) периода. Показано, что применение насыпного метода не препятствует включению радионуклида в почвообразование и биогенные циклы миграции. В условиях территорий пойменно-террасового типа с техногенно повышенной минерализованностью природных вод, насыпной метод не исключает поступление поллютантов в гидрографическую сеть и перераспределение их запасов в ландшафте. В последующем это способствует малоинтенсивному самоочищению территории без образования в районе вторичных очагов загрязнения.

Консервация радиоактивных отходов и грунтов, заключающаяся в создании многоступенчатой системы физических и геохимических (на основе бентонитовых глин) барьеров на пути миграции радионуклидов, способна обеспечить радиоэкологическую безопасность для населения и окружающей среды в годовом цикле и на долговременную перспективу. Результаты поквартального мониторинга показано уменьшение содержания радия-226 в грунтовых водах в зоне влияния объекта консервации в 10 раз за 2-3 года.

Выводы. Проведенные исследования свидетельствуют о низкой эффективности насыпного метода при дезактивации загрязненных радием территорий северной тайги. В свою очередь, консервация РАО с использованием глинистых барьеров на основе бентонита способна обеспечить в северотаежных районах, характеризующихся загрязнением радием, долговременную радиоэкологическую безопасность. Целесообразна экотоксикологическая оценка природных вод территории.

НЕПРЯМЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА БИОТУ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Т.Г. Сазыкина

Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск, Россия

ecomod@obninsk.com

Наряду с поглощенными дозами ионизирующей радиации, живые организмы, обитающие на радиоактивно загрязненных территориях, подвергаются хроническому воздействию сопутствующих радиации факторов – химически токсичным продуктам радиолитического распада воды и воздуха, а также повышенной ионизации и повышенной электропроводности воздуха. Чувствительность биологических видов к радиолитическому и электрическому загрязнению окружающей среды не соответствует традиционной шкале расположения биологических видов по устойчивости к поглощенной дозе облучения; эффекты не пропорциональны поглощенной дозе.

Целью данной работы является теоретическая оценка интенсивностей образования продуктов радиолитического распада и аэроионов в окружающей среде в зонах радиационных аварий и анализ воздействия на чувствительные организмы природной биоты.

Материалы и методы. Предложены расчетные методы и выполнены оценки суточной генерации продуктов радиолитического распада (азотная кислота, окислы азота, перекись водорода) и аэроионов в ближних зонах крупных радиационных аварий (Чернобыльской и Кыштымской). Показана повышенная значимость вторичных факторов радиации при загрязнении окружающей среды высокоионизирующими альфа- и бета-излучателями по сравнению с гамма-излучателями. Определены специфические вредные эффекты продуктов радиолитического распада и повышенной ионизации на здоровье живых организмов.

Результаты. Показано несоответствие негативных эффектов у «радиоустойчивых» низших организмов почвенной фауны загрязненных территорий уровням дозы облучения. Предложена гипотеза о значимой роли непрямых факторов радиации при формировании негативных эффектов на органы (глаза, легкие) и организмы (почвенная микро и мезофауна), чувствительные к продуктам радиолитического распада и повышенным концентрациям аэроионов в окружающей среде.

Выводы. Учет вторичных факторов воздействия радиации будет способствовать формированию более точной шкалы «уровни радиации в ОС – эффекты на флору и фауну», что важно для нормирования допустимых уровней радионуклидов в окружающей среде. Сделан вывод о необходимости натурных измерений непрямых факторов воздействия радиации на загрязненных территориях.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н.И. Санжарова

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия
natsan2004@mail.ru

Развитие радиоэкологических исследований связано с необходимостью защиты человека и окружающей среды от радиационного воздействия. На первом этапе востребованность радиоэкологии была связана с военным применением ядерной энергии, когда при реализации атомного проекта были начаты исследования по оценке радиобиологических и радиоэкологических последствий возможного ядерного конфликта.

Крупные аварии на предприятиях атомной отрасли определили необходимость проведения более широкого спектра радиоэкологических исследований, включая вопросы миграции радионуклидов в окружающей среде, их накопления в компонентах экосистем; изучение закономерностей и механизмов радиоадаптации популяций растений и животных в условиях хронического облучения и т.д. Радиоэкология формируется как разветвленная область знаний, включающая различные направления: континентальная, водная, лесная, сельскохозяйственная радиоэкология и т.д.

В период интенсивного развития ядерной энергетики в 70-80-е годы XX века, одной из ключевых задач стало прогнозирование последствий для человека и окружающей среды радиоактивного загрязнения при различных радиационных ситуациях – от штатного функционирования АЭС до возможных аварий. Авария на ЧАЭС определила принципиально новый этап в развитии радиоэкологии, что связано с комплексом факторов: масштабы загрязнения, особенность формирования радиационной ситуации; разнообразие природно-климатических условий и т.д. После аварии в атомной отрасли, помимо обеспечения технологической безопасности, развитие ядерной энергетики ставится общественностью в прямую зависимость от решения экологических проблем.

В период глобальных выпадений начал осуществляться контроль за состоянием окружающей среды, в рамках которого изучались закономерности миграции основных долгоживущих искусственных радионуклидов. Воздействие на окружающую среду предприятий существенно отличается на различных этапах ЯТЦ. Кроме того, размещение предприятий на территориях с разными природно-климатическими условиями определяет специфику формирования радиологических ситуаций. Для корректного учета воздействия выбросов и сбросов предприятий на окружающую среду, а также учета региональных особенностей последствий их функционирования в 80-е годы начала формировать система радиоэкологического мониторинга, данные которого являются основой для прогнозирования и оценки радиационной безопасности.

Перспективы развития радиоэкологии связаны с созданием новых технологий в ядерной энергетике, что требует изучения поведения малоизученных радионуклидов, а также определения критериев оценки устойчивости сообществ живых организмов к радиационному воздействию. Самостоятельную проблему радиоэкологии представляют вопросы «радиационного наследия». Важной прикладной задачей является синтез разнородной радиоэкологической информации в рамках моделей и компьютерных систем, предназначенных для прогностических и сценарных системных исследований.

В любом государстве, которое использует ядерную энергию в мирных или военных целях, радиоэкологические исследования является одним из элементов научных знаний, которые обеспечивают национальную безопасность.

СРАВНЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В АГРОСЕРОЙ И СЕРОЙ ПОЧВАХ ТУЛЬСКИХ ЗАСЕК

А.Р. Тамразова¹, К.М. Магомедова², Д.В. Манахов¹

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²ООО "НПЦ "ЭКОПРОМСЕРТИФИКА", Москва, Россия

anna.tamrazova2014@gmail.com

Информация о формах нахождения тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН) в почвах необходима для оценки их биологической доступности при переходе в растения и прогноза их поведения при миграции в сопредельные среды. Особенно важно это для почв сельскохозяйственных угодий, так как радионуклиды, перешедшие в урожай, могут поступать в рацион питания человека.

Целью работы было изучение форм нахождения ^{226}Ra , ^{238}U и ^{232}Th в агросерой почве Тульских засек и сравнение их с серой почвой под лесом в той же местности.

Материалы и методы. Объектом исследования послужил пахотный горизонт агросерой насыщенной среднепахотной тяжелосуглинистой почвы на покровных суглинках, подстилаемый песками. Изучение форм нахождения ТЕРН проводилось методом последовательной экстракции Павлоцкой. Концентрации ^{238}U и ^{232}Th измеряли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой непосредственно в почвенной вытяжке. Активность ^{226}Ra определяли трехкратным измерением суммарной альфа-активности препаратов BaSO_4 на альфа-радиометре с сцинтилляционным детектором $\text{ZnS}(\text{Ag})$. Значение активности ^{226}Ra рассчитывали с учетом распада и накопления дочерних продуктов распада изотопов радия.

Результаты. Пахотный горизонт агросерой почвы отличается от серогумусового горизонта серой почвы под лесом меньшим содержанием органического углерода, более нейтральной реакцией среды, большей насыщенностью почвенного поглощающего комплекса обменными основаниями на фоне меньшей величины гидролитической кислотности.

Установлено, что пахотном горизонте агросерой почвы основная часть естественных радионуклидов сосредоточена в минеральном остатке также, как и в серой почве под лесом. По сумме подвижных фракций (водорастворимой, обменной и собственно подвижной) ТЕРН выстраиваются в ряд $^{226}\text{Ra} > ^{238}\text{U} > ^{232}\text{Th}$ в обеих почвах. Сумма подвижных фракций ^{226}Ra в агросерой и в серой почве под лесом не различается, хотя распределение радионуклида в составе суммы подвижных фракций иное: в серой почве под лесом в составе подвижных фракций доминирует собственно подвижная, а в агросерой почве возрастает роль обменных соединений радионуклида на фоне снижения доли собственно подвижной фракции. Сумма подвижных фракций ^{238}U в агросерой почве в 8 раз, а сумма подвижных фракций ^{232}Th в 3 раза выше, чем в серой почве под лесом.

С помощью коэффициента корреляции Спирмена в пахотном горизонте агросерой почвы выявлены прямые значимые взаимосвязи между распределением по фракциям ^{226}Ra - ^{238}U и ^{232}Th -Fe, в то время как в серой почве под лесом были выявлены еще и взаимосвязи ^{226}Ra -Fe и ^{238}U -Fe.

Заключение. ^{226}Ra наиболее способен к образованию мобильных соединений, а ^{232}Th – к образованию труднорастворимых соединений. ^{238}U с одной стороны трудно выщелачивается из минеральной части, но с другой стороны, также образует подвижные соединения, хотя и в меньшей степени, чем ^{226}Ra . Подвижность ^{226}Ra в агросерой почве по сравнению с серой почвой под лесом существенно не меняется, а подвижность ^{238}U и ^{232}Th возрастают.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-04-00584 А).

ИССЛЕДОВАНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ IN SITU АДАПТАЦИОННЫХ РЕАКЦИЙ У РЫБ НА РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Г. А. Тряпицына^{1,2}, Е. А. Пряхин¹, М. Сневе³, Х.-К. Тейен⁴, А. В. Аклеев^{1,2}

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

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

³Норвежское агентство по радиационной и ядерной безопасности, Осло, Норвегия

⁴Норвежский университет наук о жизни, Эш, Норвегия
tga28@mail.ru

Река Теча (Челябинская обл., Россия) подверглась радиоактивному загрязнению в результате регламентных и аварийных сбросов ПО «Маяк» в 1949 – 1956 гг. жидких радиоактивных отходов. У рыб, обитающих более 60 лет в р. Тече, жизненный цикл на протяжении нескольких поколений проходит в условиях радиационного воздействия. Такая радиоэкологическая ситуация делает возможным исследование адаптационных возможностей у рыб.

Целью эксперимента in situ являлось изучение адаптационных реакций гемопоэза у плотвы на хроническое радиационное воздействие и на комплекс нерадиационных факторов, связанных с изменением условий содержания рыб в садках - миграции, режима питания, плотности популяции.

Материалы и методы. Биологическим объектом исследования была плотва (*Rutilus rutilus*). Плотву отлавливали в августе в верховьях радиоактивно-загрязненной р. Течи и в р. Миасс с уровнем естественного радиационного фона. Выловленную в реке плотву распределяли на три группы: рыб из группы № 1 обследовали при вылове для определения исходного состояния гемопоэза; группу № 2 помещали на 10 дней в садок, расположенный в реке обитания; группу № 3 помещали на 10 дней в садок, расположенный в другой реке (плотву р. Течи пересаживали в реку с естественным радиационным фоном; плотву из р. Миасс - в р. Течу). После содержания в садках в течение 10 сут. у рыб отбирали кровь из хвостовой вены; подсчитывали количество клеток и определяли гематокрит в периферической крови; рассчитывали мощность дозы облучения.

Результаты исследования. Мощность дозы облучения плотвы р. Течи составляет 108 мкГр/сут. У плотвы из р. Течи и р. Миасс при исходном состоянии выявлены одинаковые показатели гемопоэза и гематокрита крови. У плотвы из р. Течи нерадиационные факторы приводили к снижению уровня гемопоэза и гематокрита; перемещение рыб из р. Теча в реку с фоновым уровнем радиационного воздействия было зарегистрировано повышение количества клеток и гематокрита. У плотвы из р. Миасс нерадиационные нагрузки не приводили к изменению показателей крови; при радиационном воздействии с мощностью дозы 90 мкГр/сут регистрировалось снижение показателей гемопоэза и гематокрита.

Выводы. Радиационное воздействие на рыб снижает адаптационные возможности гемопоэза на действие нерадиационных нагрузок; устранение облучения с мощностью дозы 108 мкГр/сут приводит к восстановлению адаптационных возможностей рыб к действию стресс-факторов нерадиационной природы.

РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ ДОЗ НА КОСТНУЮ ТКАНЬ И ГОЛОВНУЮ ЧАСТЬ ПОЧКИ ДЛЯ ПЛОТВЫ, ОБИТАЮЩЕЙ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДОЕМАХ ПО «МАЯК»

М. В. Тюхай¹, Е.А. Шишкина^{1,2}, А. В. Аклеев^{1,2}

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

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
mvtiouxhai@mail.ru

Оценка экологического риска при радиоактивном загрязнении пресноводных экосистем в качестве обязательного этапа предполагает расчет доз для гидробионтов. Наиболее радиочувствительными среди гидробионтов являются рыбы. Для оценки биологических эффектов необходим расчет доз на органы-мишени. Для оценки влияния хронического радиационного воздействия на костную систему и кроветворение у рыб необходим расчет органных доз на скелет и почку.

Целью данного исследования был расчет мощности дозы на позвоночник и головную часть почки для плотвы (*Rutilus rutilus*) из радиоактивно-загрязненных водоемов ПО «Маяк» В-11, В-10 и В-4.

Материалы и методы. В 2015 гг., были отобраны пробы плотвы (*Rutilus rutilus*) из водоемов В-11, В-10, В-4 по 10-18 особей из каждого водоема. Возраст рыбы на момент отлова составил 2+ - 6+. Определяли содержание ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в костной ткани (позвоночник), мышцах и тушке в целом. Концентрацию ⁹⁰Sr в пробах определяли путем радиохимического выделения ⁹⁰Y с последующим измерением его активности на β-метрической установке УМФ-2000 и плазменно-фотометрическим контролем выхода носителя ⁹⁰Sr. Содержание ¹³⁷Cs определяли спектрометрически на установке с детектором ДГДК-80В-3 и анализатором LP-4900В фирмы Nokia. Для расчета радиационного воздействия, связанного с накоплением в скелете ⁹⁰Sr, была разработана геометрическая модель позвоночника и прилегающей к нему головной части почки на основе морфометрических исследований, выполненных для 10 взрослых особей плотвы. Дозиметрическое моделирование транспорта излучений осуществляли в программе MCNP6. ¹³⁷Cs рассчитывали в приближении равномерного распределения радионуклида в органах и тканях плотвы.

Результаты. Содержание ⁹⁰Sr в тушке плотвы из водоемов В-11, В-10 и В-4 составило 67 ± 10 ; 220 ± 34 ; 670 ± 110 кБк/кг сырой массы соответственно. Содержание ¹³⁷Cs у рыб из этих водоемов составило $0,19 \pm 0,03$; $10,9 \pm 3,2$; 111 ± 32 кБк/кг сырой массы. Содержание ⁹⁰Sr в позвоночнике плотвы из водоема В-11 составило 140 ± 21 кБк/кг сырой массы, из водоема - В-10 - 810 ± 160 кБк/кг, и из водоема В-4 - 1420 ± 240 кБк/кг сырой массы. В мягких тканях накопление ⁹⁰Sr было в среднем в 50 раз ниже. Содержание ¹³⁷Cs в позвоночнике у рыб из этих водоемов составило $0,19 \pm 0,03$; $8,89 \pm 0,93$; 109 ± 11 кБк/кг сырой массы соответственно, и было ниже такового в мягких тканях в 1.5 раза. Изучено распределение радионуклидов в организме, построена геометрическая модель фрагмента скелета (позвоночник и ребра, прилегающие к головной части почки), а также самой почки. Оценены мощности доз в почке и костной ткани.

Выводы. Мощность дозы внутреннего облучения от инкорпорированных ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs на костную ткань у плотвы из водоемов В-11, В-10, В-4 составила соответственно 1,5; 8,6; 14,9 мГр/сут. Мощность дозы на головную часть почки составила соответственно 0,37; 2,2; 3,8 мГр/сут. Полученные результаты позволяют исследовать закономерность «доза-эффект» при действии хронического облучения на морфо-функциональное состояние костной ткани и кроветворения у плотвы.

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ^{210}Pb И ^{226}Ra В СЕРОГУМУСОВОМ ГОРИЗОНТЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Т.Ю. Ушакова, Д.В. Манахов

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

t.ushakova99@gmail.com

Информация о формах нахождения тяжелых естественных радионуклидов в почвах необходима для оценки их биологической доступности при переходе в растения и прогнозирования поведения при миграции этих радионуклидов в сопредельные среды. Актуальность этой темы обусловлена тем, что подобной информации о фоновых, незагрязненных почвах очень мало как в отечественных, так и в зарубежных источниках.

Целью данной работы было изучение физико-химических свойств и форм нахождения тяжелых естественных радионуклидов в дерново-подзолистой почве.

Материалы и методы. Объект нашего исследования — дерново-подзолистая почва, исследованная на территории УОПЭЦ МГУ «Чашниково». Изучение форм нахождения естественных радионуклидов проводилось методом Павлоцкой. Активность ^{226}Ra измеряли альфа-радиометрически с использованием детектора $\text{ZnS}(\text{Ag})$ и рассчитывали с учетом накопления дочерних продуктов распада изотопов радия. Измерение активности ^{210}Po , через которую определяли активность ^{210}Pb , — альфа-спектрометрически с использованием кремниевого ионно-имплантированного детектора (Амплитуда, Россия).

Результаты. В ходе исследования выяснилось, что основная часть ^{226}Ra сосредоточена в минеральном остатке (F5), что означает его относительно слабую мобилизацию в верхнем серогумусовом горизонте. В составе водорастворимых соединений (F1) он практически отсутствует, однако было выявлено значительное его содержание в обменной (F2) и подвижной фракциях (F3). Доля ^{210}Pb , связанного в остаточной фракции меньше, чем для ^{226}Ra . Это можно связать с тем, что он входит в радиоактивный ряд распада ^{238}U , но распадается позже ^{226}Ra и при превращении выходит из кристаллических решеток минералов. В отличие от ^{226}Ra , ^{210}Pb лучше переходит в обменную (F2), подвижную (F3), связанную с органическим веществом (F4.1) и кислоторастворимую (F4.2) фракции, что делает его не только более доступным для растений элементом, но и более подвижным, по крайней мере, в серогумусовом горизонте исследованной почвы.

Изотопное отношение ^{210}Pb к ^{226}Ra в серогумусовом горизонте составляет 1,45. Это означает избыточное накопление ^{210}Pb по отношению к ^{226}Ra в верхнем горизонте. По всей видимости, это обусловлено тем, что относительно долгоживущий ^{210}Pb появляется в почве не только в результате радиоактивного распада уже присутствующих в почве предшественников, но и в результате попадания извне. Так, ^{222}Rn , присутствующий в атмосфере, претерпевая радиоактивный распад, превращается в дочерние продукты распада, которые не являются газами, и выпадают на поверхность почвы. Изотопное отношение $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$, посчитанное отдельно для каждой фракции только в остаточной фракции меньше единицы. Для всех остальных фракций оно существенно больше единицы. Максимальная величина изотопного отношения $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ наблюдается в подвижной фракции (F3).

Заключение. Таким образом, ^{210}Pb , склонный к накоплению в верхних горизонтах за счет атмосферных выпадений, является элементом, тяготеющим к образованию мобильных соединений. ^{226}Ra также склонен к образованию мобильных соединений, хоть и в меньшей степени, чем ^{210}Pb .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-04-00584 А.

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА *FRUTICICOLA FRUTICUM*

*Е.Е. Черкасова*¹, *Г.В. Лаврентьева*^{1,2}, *Л.А Трофимова*¹, *Б.И. Сынзыныс*¹

¹Обнинский институт атомной энергетики – филиал «Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Обнинск, Россия

²Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Калужский филиал, Калуга, Россия
CaterinaCherkasova@yandex.ru

Для оценки влияния ионизирующего излучения на биоту применяются различные показатели, такие как смертность, нарушение физиологических показателей, изменение поведенческих показателей, нарушение рождаемости и т.д.

Целью данного исследования является изучение влияния γ -облучения на выживаемость наземного моллюска *F. Fruticum*.

Материалы и методы. Объектом исследований является наземный моллюск *F. fruticum*. Пробоотбор половозрелых моллюсков осуществлялся на территории национального парка «Угра». Облучение моллюсков осуществлялось на γ - установке ГУР – 120 в диапазоне доз от 10 до 100 Гр с шагом 10 Гр. Лабораторные наблюдения за смертностью проводились на протяжении 11 месяцев после облучения. Показатель ЛД50/60 определялся расчетным способом посредством пробит-анализа с применением метода наименьших квадратов.

Результаты. На основании данных эксперимента был определен показатель ЛД50/60, т.е. доза облучения, при которой отмечается 50% смертности особей через 60 дней после облучения. Показатель ЛД50/60 для половозрелого наземного моллюска *F. fruticum* равен 91,2 Гр.

Для интерпретации экспериментальных данных по выживаемости наземного моллюска дозы облучения от 10 до 100 Гр были разделены на диапазоны: малые (10–30 Гр), средние (40–60 Гр), высокие (70–100 Гр) дозы.

При облучении моллюсков в условном диапазоне малых доз наблюдается наибольшая выживаемость животных. При этом через три месяца после облучения моллюска дозами 10, 20 и 30 Гр выживаемость равна 100%. К завершению эксперимента выживаемость снижается в среднем до 60%. При облучении моллюсков в условном диапазоне средних доз отмечаются неоднозначные результаты. При облучении моллюсков дозами облучения 40 и 50 Гр отмечается 80% выживших особей на протяжении всего периода измерений. Доза облучения 60 Гр приводит к снижению выживаемости до 40 %. Наименьший показатель выживаемости отмечается при облучении моллюсков в диапазоне доз 70 – 100 Гр и составляет к концу эксперимента 20%. Тогда как в первые месяцы после облучения высокими дозами выживаемость животного составляла 40-80%. Вышеуказанные изменения выживаемости моллюска при облучении дозами от 10 до 100 Гр наблюдаются на фоне 100%-ой выживаемости в контрольной группе.

Выводы.

1. Увеличение дозы γ -облучения наземного моллюска *F. fruticum* в диапазоне от 10 до 100 Гр приводит к снижению выживаемости моллюсков на фоне 100%-ой выживаемости в контроле

2. Показатель ЛД50/60 для половозрелого наземного моллюска *F. fruticum* составляет 91,2 Гр.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ НА РОСТ ПРОРОСТКОВ

Н.В. Шамаль

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь
namahasha@rambler.ru

Гамма-облучение семян в небольших дозах ведет к ускорению темпов развития растений. Эффект стимуляции бывает нестабильным и степень проявления зависит от многих факторов. В работах ряда исследователей было указывается, что эффект облучения зависит от уровня свободных радикалов, порфиринов в семенах, состояния аквопоринов и состава клеточной популяции меристемы.

Целью представленной работы был анализ проявления ростовой стимуляции у проростков ячменя, выросших из гамма-облученных семян.

Исследования проводили на семенах ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Гонар». Семена облучали на γ -установке «Игур» (источник – ^{137}Cs). Доза облучения составила 2,5; 5,0 и 10,0 Гр (мощность дозы 12,3 сГр/мин). Семена проращивали на растительных сетках. Рост проростков оценивали на 6-8 сутки прорастания. В каждом варианте анализировалось 360 растений ежедневно.

Установлено, что средняя длина проростков разных вариантов значительно различалась между собой. Доза 2,5 и 5,0 Гр для ячменя сорта «Гонар» являлась стимулирующей. Положительный эффект наблюдался в течение всего эксперимента на фоне снижения скорости роста проростков к 8-му дню. Доза 10,0 Гр оказала тормозящее действие на рост проростков. Эффект торможения имел кратковременный характер. На фоне постепенного ускорения скорости роста проростков длина 8-ми дневных растений контрольного варианта и варианта облучения в дозе 10 Гр не различалась между собой.

Анализ интервальных вариационных рядов показал, что рост 6-ти дневных контрольных растений и 7-ми дневных растений варианта облучения в дозе 2,5 Гр характеризовался существенной мерой отклонения от симметричного распределения. Асимметрия составляла соответственно -0,54 и 0,84. Рост 7-ми дневных растений вариантов облучения в дозе 2,5 и 10 Гр характеризовался существенной степенью отклонения распределения частот от нормального распределения. Эксцесс составлял соответственно 0,98 и 1,24.

Эмпирическое распределение частот кривой отличалось от теоретической кривой распределения контрольных растений, что свидетельствовало о неоднородности использованной партии семян. Было выявлено наличие двух плато по обе стороны от среднего значения ростового параметра. Для облученных вариантов отмечено снижение коэффициента вариации признака по сравнению с вариацией параметра у контрольных растений. Интервальные вариационные ряды облученных вариантов имели меньшее число частот. Кривые эмпирического распределения частот длины проростков облученных вариантов также имели плато с каждой стороны от пика среднего значения, при этом эффект от облучения приводил к разнонаправленному сдвигу плато при сравнении с кривой распределения контрольного варианта. Неравномерность изменения кривой указывает на разобщенность реакции растений на действие ионизирующего излучения в изучаемой партии.

Таким образом в ходе исследования установлено, что доза облучения семян 2,5 и 5,0 Гр (при мощности дозы 12,3 сГр/мин) является стимулирующей для роста проростков, при этом эффект облучения для отдельных особей в партии может различаться.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОДВИЖНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ УРАНОВОГО РЯДА В КОМПОНЕНТАХ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСНОЙ ЗОНЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВСЛЕДСТВИЕ ДОБЫЧИ РАДИЯ

Шапошникова Л.М., Рачкова Н.Г.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

shaposhnikova.l.m@ib.komisc.ru

Мхи и листовой опад являются значимыми структурными элементами напочвенного покрова лесных экосистем. В радиоактивно загрязненных зонах они играют важную роль в миграционных циклах поллютантов, выполняя функцию временного резервуара для их хранения. Изучение подвижности радионуклидов в компонентах напочвенного покрова дает возможность оценить депонирующие способности последних и скорость протекания миграционных процессов.

Цель исследования - сравнительный анализ содержания и подвижности радионуклидов уранового ряда (U, ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po) во мхах и в листовом опаде осины в северотаежной зоне Республики Коми, загрязненной отходами производства радия.

Материалы и методы. Исследовали свежесобранные образцы мхов (*Sphagnum girgensohnii* Russow, *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt) и листового опада осины (*Populus tremula* L.). Методом последовательного химического фракционирования из них были выделены подвижные фракции радионуклидов («водорастворимая» (дист. H_2O), «обменная» (1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$), «кислоторастворимая» (0.1М H_2SO_4), «органическая» (нагревание с 30% H_2O_2)). Остаток после фракционирования считали «нерастворимой» фракцией.

Результаты. На экспериментальном участке, занятом смешанным лесом, в почве, во мхах и листовом опаде осины содержатся повышенные содержания исследуемых радионуклидов. Для всех них характерно более высокое содержание во мхах по сравнению с листовым опадом осины, что говорит о хороших поглощающих способностях брйофлоры. Однако способность удерживать радионуклиды в своем составе отличалась как для разных компонентов напочвенного покрова, так и для различных радионуклидов. Так, 40-60% от общего содержания ^{226}Ra в образцах мхов вытеснялось в «водорастворимую», «обменную» и «кислоторастворимую» фракции. Доля U в этих подвижных фракциях составила 7-45%. В то же время в листовом опаде большое количество ^{226}Ra было закреплено прочно, в частности 33-83% валового содержания радионуклида сохранялось в «нерастворимой» фракции. В случае U эти значения были ниже, при этом подавляющая его часть (до 94%) вытеснялась в «водорастворимую», «обменную» и «кислоторастворимую» фракции, что предполагает более быстрое возвращение поллютанта в окружающую среду. Подвижность ^{210}Pb и ^{210}Po во мхах и листовом опаде была схожа. До 30% их количества последовательно экстрагировалось водой, 1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ и 0.1М H_2SO_4 . Значительные доли этих радионуклидов сохранялись в биомассе.

Выводы. Учитывая многолетний цикл вегетации и длительное разложение мортмассы, мхи на продолжительный период могут вывести из миграционного цикла значительную часть U, ^{210}Pb и ^{210}Po . Что касается ^{226}Ra , то при высоком поглощении мхами его подвижность в них также относительно велика. Наряду с этим в листовом опаде, он наименее подвижен в сравнении с другими радионуклидами. Уровень подвижности ^{210}Pb и ^{210}Po в опавших листьях осины соответствовал таковому во мхах.

В целом, полученные данные доказывают значимость листового опада осины как временного резервуара для хранения исследованных радионуклидов. Однако более быстрый по сравнению со мхами процесс разложения предполагает и скорое возвращение радионуклидов в окружающую среду. Прогнозируемая скорость этого процесса для U является наибольшей.

Исследования выполнены в рамках Госзадания № АААА-А18-118011190102-7.

СЕКЦИЯ №13

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И

ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В ГРАНИЦАХ КАНЬОНА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИСТАНЦИОННОЙ ТЕРАПИИ НА БАЗЕ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

А.И. Адарова, А.Е. Чернуха, А.Н. Соловьев

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ
«Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства
здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия
alya.adarova@mail.ru

Использование нейтронного излучения получило широкое применение в ядерной медицине. При этом приходится учитывать его проникающую способность и, порождаемую нейтронами радиоактивность.

Целью данного исследования является оценка радиационных полей в тонком слое воды в границах каньона и оценка активации защитной стенки и материалов конструкций на основе решений уравнения Бейтмана (образование радиоактивного изотопа и его распад при отсутствии выгорания).

Материалы и методы. В оценках принят коллиматор корпусного типа: тонкостенный корпус с каналом ~ из композита ВМД, спаянного на стыках оловом, засыпанный вольфрамовой сферической крошкой ~ 3 – 4 мм, залитой борированным полиэтиленом. Нейтронный генератор (разработка ВНИИА им. Духова) с биологической защитой (Fe – скрап в борированном полиэтилене) размещен в каньоне за защитной стенкой из сборных бетонных фасонных изделий ломаной геометрии, с проемом для движения терапевтического стола. Генератор установлен на поворотной раме из нержавеющей стали (гантри). При оценке скоростей нейтронных реакций расположение элементов конструкции, стен отвечает проектному расположению.

Э2Результаты. Активность железных конструктивных элементов гантри после 40 минут работы генератора составляет $\sim 1.4 \cdot 10^6$ Бк. Оценка активности железных элементов конструкции генератора показала, что основной вклад в радиационное поле вносит нижний фланец $\sim 9.7 \cdot 10^8$ Бк. Также была оценена активность железных элементов конструкции поворотного механизма и цепного транспортера,двигающего стол, непосредственно под пучком из коллиматора и за защитной стенкой $\sim 3.1 \cdot 10^6$ и $8.4 \cdot 10^2$ Бк соответственно.

Выводы. Полученные результаты показали, что наличие проема в защитной бетонной стенке не приводит к увеличению поглощенной дозы в месте нахождения оперативного персонала.

Поглощенная доза нейтронов в границах каньона и за его пределами, в месте нахождения оперативного персонала, составляет $\sim (0.2 - 0.3)$ мкГр/ч, что удовлетворяет нормам радиационной безопасности для персонала группы Б.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ У ПАЦИЕНТОВ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Н. А. Акопова, А.В. Алехнович, Ю. В. Дружинина, Е. П. Ермолина
ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Москва, Россия

Исследования органов грудной клетки (ОГК) составляют значимую часть рентгенодиагностических исследований. В настоящее время в связи с коронавирусной пандемией развернута сеть специализированных медицинских учреждений и перепрофилированы отделения существующих организаций, что привело к резкому возрастанию проводимых высокоинформативных методов диагностики, включая компьютерную томографию (КТ).

Цель данного исследования состоит в оценке эффективных доз взрослых пациентов при КТ и традиционной рентгенографии (РГ) и оценке радиационных рисков при прохождении этих процедур.

Материалы и методы. Эффективные дозы ОГК пациентов при РГ и КТ определяли на основании собственных измеренных значений радиационного выхода и компьютерного томографического индекса дозы в соответствии с МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» и МУ 2.6.1.3584-19 "Изменения в МУ 2.6.1.2944-19 "Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований"; оценку радиационного риска проводили в соответствии МР 2.6.1.0098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований». Определены эффективные дозы для 12 компьютерных томографов и 38 рентгенодиагностических аппаратов общего назначения в клиниках Москвы, Московской и Рязанской областей (за период 2017-2019 гг.).

Результаты. Эффективные дозы ОГК взрослых пациентов (18-65 лет) при РГ составляли от 0,04 до 0,29 мЗв в передне-задней и от 0,04 до 0,25 мЗв в боковой проекциях. Дозы при КТ находились в диапазоне от 2,9 до 18,6 мЗв в зависимости от типа (модели) КТ и режимов проведения процедуры. Выявлено количество повторных исследований у одного и того же пациента: от 2 до 10 в течение полугода. Суммарные дозы при повторных исследованиях составляли 1-2 мЗв при РГ и 130- 150 мЗв при КТ.

В соответствии с Международной шкалой риска (МР 2.6.1.0098-15) риск облучения ОГК для взрослых пациентов оценивается как минимальный (10^{-6} - 10^{-5}), т.е. один случай на миллион или на сто тысяч. При проведении трех и более процедур КТ пациент попадает в зону существенного риска ($3 \cdot 10^{-3}$ - 10^{-2}), т.е. от трех до десяти случаев радиогенного рака на 1000 человек.

Вывод. Полученные данные свидетельствуют о том, что при необоснованном повторе КТ ОГК радиационный риск значительно возрастает, что подтверждает необходимость руководствоваться принципами обоснования назначения рентгенорадиологических медицинских процедур и оптимизации мер защиты пациента.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИАЦИОННОГО РИСКА ПО ДАННЫМ, СОДЕРЖАЩИМСЯ В РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПАСПОРТАХ ТЕРРИТОРИЙ

Руслан Р. Ахматдинов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены
имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
rusl.akh@niirg.ru

Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации представляет собой наиболее полную, объективную и доступную характеристику всех источников ионизирующего излучения (техногенных, медицинских, природных) и обусловленных ими доз облучения населения на территории как всей страны, так и отдельных субъектов РФ. Анализ состояния радиационной безопасности конкретной территории требует детального изучения каждого из основных показателей и формирования конкретного перечня ключевых показателей радиационной безопасности.

Целью работы стала разработка программного обеспечения для автоматического расчета показателей радиационного риска для повышения эффективности комплексной сравнительной оценки воздействия радиационного фактора на население Российской Федерации и её субъектов.

Материалы и методы. Для расчета показателей радиационного риска использовались данные компьютерной программы ФБД-РГПт (программа по ведению федерального банка данных радиационно-гигиенических паспортов регионов РФ и составлению радиационно-гигиенического паспорта РФ) 2004-2018 годов. Расчеты проводятся в соответствии с Методическими рекомендациям МР 2.6.1.0145-19 «Расчет показателей радиационного риска по данным, содержащимся в радиационно-гигиенических паспортах территорий, для обеспечения комплексной сравнительной оценки состояния радиационной безопасности населения субъектов Российской Федерации».

Результаты. Разработанная компьютерная программа позволяет вычислять количественные оценки радиационных рисков у населения всех субъектов Российской Федерации для различных ситуаций облучения:

- медицинское облучение пациентов;
- природное облучение от пищи и питьевой воды;
- природное облучение от радона;
- техногенное облучение – деятельность предприятий;
- техногенное облучение – радиоактивное загрязнение;
- техногенное облучение – персонал радиационных объектов.

Приложение написано на языке программирования C# с использованием Windows Forms.

Выводы. Результаты количественной оценки радиационного риска при различных ситуациях облучения могут быть использованы для индивидуальной характеристики субъектов Российской Федерации, а также межрегионального сравнения. Использование программного обеспечения позволяет быстро и качественно оценить состояния радиационной безопасности субъектов Российской Федерации по показателям радиационного риска, содержащимся в радиационно-гигиенических паспортах территорий.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ТРИТИЯ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

В.Г. Барчуков, Д.И. Кабанов, Н.А. Еремина, Л.И. Кузнецова, С.В. Березин
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна
ФМБА России, Москва
barchval@yandex.ru

Развитие атомной энергетики тесно связано с успешным решением ряда важных проблем по обеспечению радиационной безопасности, где проблема выбросов и сбросов трития и его соединений при работе АЭС и поступления их в организм человека является одной из наиболее актуальных.

Цель данного исследования состоит в разработке комплексного подхода к оценке соединений трития, поступающих в организм человека, который учитывает все пути поступления трития и его соединений в организм и формы, в которых он поступает.

Материал и методы. Особенностью трития является то, что этот радионуклид образуется как в естественных условиях, так и в условиях промышленной деятельности человека. При этом он способен образовывать разные формы, которые существенно отличаются по их способности вызывать нарушения в клеточных структурах организма и соответственно вносят разный вклад в формировании дозы от этого радионуклида. Эта особенность трития определила необходимость разработки комплексного подхода к оценке его поступления в организм человека. В основу разработки комплексного подхода была положена дифференцированная оценка соединений трития, поступающих в организм человека с учетом доли трития в газообразном состоянии, в виде оксида трития (НТО) и в виде органически связанных соединений (ОСТ) при всех возможных путях поступления.

Результаты. Разработанный комплексный подход включает методику определения объемной активности органических и неорганических соединений трития в водных объектах методом жидкостинтилляционной спектрометрии. Определение трития в воздухе включает две методики. Во-первых, методику выполнения измерений трития с применением расходомера-пробоотборника TASC-НТ-НТО-С14 (МВК), которая позволяет выделить соединения трития, содержащихся в воздухе в газообразном виде (НТ, Т₂) и в виде суммы соединений содержащих НТО и ОСТ. Для разделения НТО и ОСТ разработана методика определения их содержания в воздухе окружающей среды и производственных помещений.

Отмеченный методический комплекс позволяет оценить поступление трития и его соединений в организм с водой и воздухом. Эти пути поступления трития и его соединений характерны для персонала. Однако для населения важным путем поступления является алиментарный путь с продуктами питания выращенными или собранными в районе расположения АЭС. Для решения этой задачи нами была разработана методика определения удельной активности соединений трития в грунте и растительности.

Заключение. Обобщая материалы по разработке комплексного подхода к оценке поступления трития и его соединений в организм персонала и населения можно заключить, что предложенный методический комплекс позволяет оценить все возможные пути поступления трития в организм, как персонала, так и населения, а также учесть вклад каждого типа соединений трития (НТ, НТО и ОСТ), присутствующих в исследуемых средах в формировании дозы от поступления этого радионуклида. Такой подход к радиационно-гигиенической оценки воздействия трития в настоящее время считается многими европейскими регуляторами наиболее полным и рекомендуется к внедрению при оценке воздействия радиационно-опасного объекта.

ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРИТИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ

В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна

ФМБА России, Москва

barchval@yandex.ru

Широкомасштабное развитие атомной энергетики приводит к значительному поступлению трития в окружающую среду, что создает дополнительные радиационные нагрузки на человека и биоту.

Целью проведенного цикла исследований является обоснование и разработка дифференцированного подхода к оценке воздействия трития и его соединений на человека.

Материал и методы. Проведенные нами исследования последних лет свидетельствуют о необходимости учета в оценке радиационного воздействия различных соединений трития, что определило необходимость разработки современных методов измерения и оценки уровня органических и других соединений трития в окружающей среде, разработки методов оценки поступления, накопления и выведения таких соединений из организма человека, установления величины относительной биологической эффективности (ОБЭ) этих соединений, а также разработки методов оценки последствий их воздействия на основе новых физических принципов (фазовый изотопный обмен) и современных радиобиологических методов исследования.

Результаты. В ходе многолетних исследований нами разработан дифференцированный подход к оценке воздействия трития и его соединений на персонал и населения. Суть его заключается в том, что при расчете дозы от поступления трития учитываются формы, в которых он поступает и находится в организме человека в виде газов (НТ, Н₃ТС, и т.д.), оксида (НТО) и органических соединений (ОСТ). Такой подход обусловлен тем, что ОБЭ различных соединений трития существенно различаются. Так ОБЭ органических соединений трития существенно выше, чем в оксидной форме и тем более газообразной. Нами разработан методический комплекс и проведены исследования по оценке трития и его соединений в окружающей среде (воздух, вода, грунт растительность) на АЭС и в районе их расположения. При этом показан значимый вклад ОСТ в общее содержание трития и его соединений в исследованных объектах окружающей среды. Разработаны методы и проведена оценка поступления, накопления и выведения трития из организма персонала, связанного с работами по обращению с тритием, где также показана значимая доля ОСТ. Проведен комплекс радиобиологических исследований на клеточном уровне, где показано значимая роль воздействия ОСТ на ДНК клеток.

Заключение. Разработанный подход по дифференцированной оценке дозы при поступлении различных соединений трития в организм человека позволяет с меньшей неопределенностью оценить дозовую нагрузку от этого радионуклида. Методический аппарат, разработанный в ходе исследований, позволяет реализовать такой подход на практике при проведении санитарно-эпидемиологического надзора, а также определяет необходимость включения в нормативные требования оценку ОСТ, как в объектах окружающей среды, так и в организме человека.

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕШТАУГОРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Бельских Ю.С., Н.К. Шандала, А.В. Титов, Д.В. Исаев

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный
медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
yourbelk@yandex.ru

В период с 1949 г. по 1975 г. Лермонтовским производственным объединением «Алмаз» (ЛПО «Алмаз») (Ставропольский край) проводилась разработка урановых месторождений на горе Бештау (рудник № 1).

В настоящее время данная территория является памятником природы краевого значения «Гора Бештау» - излюбленным местом отдыха населения.

Состояние радиационной обстановки и возможное ее ухудшение из-за неудовлетворительного состояния бывших объектов уранового производства вызывает озабоченность общественности и местной администрации.

Целью данного исследования является оценка радиационной обстановки на территории Бештаугорского заповедника и доз облучения населения.

Материалы и методы. При обследовании использовались методы пешеходной гамма-съемки с помощью портативного спектрометрического комплекса МКС-01А «Мультирад-М» и кратковременных измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона аэрозольным альфа-радиометром РАА-20П2 «Поиск».

Результаты. Вдоль основных маршрутов для прогулок и отдыха значения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения варьируют от 0,10 до 0,86 мкЗв/ч. Эффективные дозы внешнего облучения населения при однократном прохождении маршрутов варьируют от 1,0 до 1,6 мкЗв. Максимальный вклад в дозу от техногенного облучения не превышает 30 %.

Значения эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов изотопов радона в воздухе на маршрутах движения не превышали 60 Бк/м³. Эффективная доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радона и его дочерних продуктов при разовом прохождении маршрутов не превысит 3 мкЗв.

Выводы. В основных местах пребывания населения в районе рудника № 1 радиационная обстановка на отдельных участках не удовлетворяет требованиям СП ЛКП-91, но не представляет угрозы здоровью населения.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ РИСКИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ РЫБЫ И ВОДЫ, СОДЕРЖАЩИХ ТРИТИЙ

Л.Г. Бондарева

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора,
Мытищи, Московская область, Россия
lydiabondareva@gmail.com

Тритий является изотопом биогенного элемента водорода. При поступлении в организм относительно равномерно распределяется по всем органам и тканям. Обладая политропным воздействием на органы и ткани организма, тритий является значительно более токсичным радионуклидом по сравнению с другими гамма- и бета-излучателями (^{137}Cs , ^{106}Ru). Кроме того, тритий обладает трансмутагенным действием, которое может вызывать генетические эффекты. По данным НКДАР ООН (1988 г.) тритий отнесен к числу семи наиболее опасных радионуклидов, таких как цезий-137, углерод-14, фосфор-32, радий-226, плутоний-239 и америций-241.

Целью оценка потенциальных радиационных рисков для здоровья населения Красноярского края употребляющих содержащих тритий рыбу и воду.

Материалы и методы. Натурные и модельные эксперименты проведены на наиболее распространенных пробах рыб и водных растений реки Енисей. Проводился мониторинг содержания трития в образцах воды реки Енисей, а также в системе питьевого водоснабжения г. Красноярска. Также использовались собственные данные по поведению трития в пресноводной экосистеме (натурные и модельные эксперименты). Для конструирования процесса поступления трития в организм человека с филе рыбы, содержащей тритий, использовали модель, предлагаемую ICRP, которая рассматривает в качестве основного источника поступления трития именно с пищей.

Результаты. С учетом того, что на всех исследуемых участках экосистемы реки Енисей и в системе питьевого водоснабжения содержание трития находится на уровне фоновых значений (2-6 Бк/л), содержание трития в моче населения находится в прямой зависимости от содержания трития в питьевой воде. Тогда индивидуальная доза, полученная при приеме внутрь питьевой воды, будет составлять менее 1 % от предела дозы для населения. Следовательно, содержание трития в питьевых источниках исследуемого региона не вносят значительного вклада в дозовую нагрузку населения, и может не учитываться при оценке риска.

С использованием приведенных параметров и с учетом полученных в модельных и натурных экспериментах содержания трития в филе рыбы была рассчитана эффективная доза для человека (без учета других источников поступления). Значения приведены по нормативам ЕРА (ЕРА/630/R-00/002), разовое суточное потребление рыбы составляет 113 г); расчет риска проводился для условия пожизненного (70 лет) потребления рыбы человеком массой 70 кг. С учетом выше сказанного, мощность получаемой дозы составляет $1,61 \cdot 10^{-4}$ мкГр/год или $5,33 \cdot 10^{-3}$ мкГр за 70 лет.

Данные детальные исследования были проведены впервые для исследуемой территории.

Выводы. Моделирование пролонгированного воздействия трития, поступающего в организм человека, показало следующее. Употребление рыбы и воды содержащих тритий, не может оказывать значительное влияние на организм человека и предполагаемая доза внутреннего облучения в этом случае значительно меньше нормы, установленной в НРБ 99/2009.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ РАБОТНИКОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ» С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Ю.Н. Брагин, А.Г. Сивенков, А.Г. Цовьянов, В.П. Крючков

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
braginyu@gmail.com

Работа посвящена классификации дозовых распределений работников атомных электростанций (АЭС) на основе статистических и информационных характеристик распределений, соответственно, контрэксцесса (Q) и энтропийного коэффициента (K), и их представления в виде QK-диаграммы. Показано, что для стабилизации дисперсии для широкого спектра исходных данных необходимо строить и анализировать QK-диаграммы для распределений логарифмов индивидуальных доз.

Целью данного исследования является классификация распределений индивидуальных доз внешнего облучения персонала на основе контрэксцесса и энтропийного коэффициента для оценки эффективности деятельности служб радиационной безопасности предприятий, содержащих радиационно опасные объекты.

Материалы и методы. С использованием данных Единой системы контроля индивидуальных доз (ЕСКИД) для персонала АЭС, входящих в АО «Концерн Росэнергоатом» и эксплуатирующих реакторы типа ВВЭР, проведен анализ существующих распределений годовых индивидуальных доз внешнего облучения работников в 2011-2018гг. при нормальном функционировании АЭС для тех профессий, персонал которых получал максимальные годовые коллективные дозы излучения.

Результаты. Получены отображающие точки распределений индивидуальных доз на QK-диаграмме как для всего персонала отдельных АЭС, эксплуатирующих реакторы типа ВВЭР, так и для выборок по наиболее радиационно опасным профессиям персонала. Показано, что для логарифмов индивидуальных доз присутствует три типа распределений: Гаусса, Вейбулла и типа «шапо». Гибридное логнормальное распределение, которое широко используется в области радиационной безопасности для аппроксимации реальных распределений доз, не может удовлетворительно описать целый ряд распределений доз облучения персонала.

Выводы. Положение точки, представляющей распределение индивидуальных доз некоторой группы работников на QK-диаграмме, отражает степень контроля процесса накопления доз этой группой. Отображающая точка логнормального распределения, имеющая координаты ($Q = 0,577$; $K = 2,066$) на QK-диаграмме, соответствует отсутствию контроля накопления индивидуальных доз. Чем дальше изображающая точка анализируемого распределения логарифмов индивидуальных доз отстоит от точки ($0,577$; $2,066$) на QK-диаграмме, тем в большей степени контролировался процесс накопления индивидуальных доз. Таким образом, QK-диаграммы можно использовать для построения функции управления процессом накопления индивидуальных доз.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ ^{131}I РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА НАСЕЛЕНИЕ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ

АО «НИФХИ им. Л.Я. КАРПОВА»

А. А. Бурякова, А. И. Крышев, М. Н. Каткова

«НПО «Тайфун», Обнинск, Россия

buryakova@rpatyphoon.ru

В настоящее время препараты, изготавливаемые на основе ^{131}I , активно применяются для диагностики и лечения рака. Их производство сопровождается выбросами радиоактивного йода в атмосферный воздух. Поскольку ^{131}I обладает высокой летучестью, биологической доступностью и подвижностью в окружающей среде, его выбросы являются источником дополнительного техногенного облучения населения, проживающего в районе расположения радиофармацевтического производства.

Для оценки воздействия выбросов радиоактивного йода на население проанализированы данные о годовых выбросах радионуклида и результаты радиационного мониторинга. Проведены расчеты содержания ^{131}I в окружающей среде в районе расположения радиофармацевтического производства в г. Обнинск (АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова») и годовых доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения предприятия. Объемная активность ^{131}I в воздухе определена с использованием гауссовой модели переноса и рассеяния примеси в атмосфере. Результаты расчетных оценок объемных активностей ^{131}I в воздухе, выполненных с учетом теплового и динамического подъема струи выброса, хорошо согласуются с данными радиационного мониторинга за период 2015 – 2019 гг.

Вклад ^{131}I в годовую дозу облучения находился в пределах 0,1 - 3,0 мкЗв/год, что ниже минимально значимой дозы (10 мкЗв/год) и на три-четыре порядка ниже предела дозы для населения (1 мЗв/год). Даже в ситуации с максимально наблюдаемыми уровнями содержания ^{131}I в приземном воздухе (2018 г.) годовая доза облучения населения была ниже минимально значимой дозы. Вклад молекулярной фракции ^{131}I в суммарную дозовую нагрузку на население выше, чем аэрозольной, составляя от 71 до 91 %.

На основе как расчетных оценок, так и данных мониторинга, можно сделать вывод об отсутствии значимого воздействия на население зоны наблюдения выбросов ^{131}I АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова». Необходимо продолжить регулярный радиационный мониторинг ^{131}I в окружающей среде в зоне наблюдения предприятия и оценивать дозовые нагрузки на население от выбросов ^{131}I для обоснования радиационной безопасности населения.

СРАВНЕНИЕ УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ВЫСОКОДОЗОВЫХ РЕНТГЕНОХИРУРГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

З.Я. Вагидова

НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

zumrudvagidova@gmail.com

К рентгенохирургическим исследованиям относятся лечебные и диагностические исследования посредством перкутанного доступа под контролем рентгеновского излучения для локализации патологии, мониторинга и контроля оперативного вмешательства в режиме реального времени. Данные исследования характеризуются отсутствием стандартизации и типовых методик проведения, а также значительным (до 90 минут) временем облучения пациентов. Данные факторы обуславливают высокие индивидуальные дозы пациентов при проведении рентгенохирургических исследований. Следует отметить, что в России дозы облучения пациентов при данных исследованиях практически не оценивались.

Цель исследования – сравнение эффективных доз пациентов при проведении наиболее распространенных рентгенохирургических исследований в Российской Федерации и зарубежных странах.

Материалы и методы. Для оценки были выбраны внутрипеченочное шунтирование, дренирование желчных протоков и исследования позвоночника. Дозы в Российской Федерации оценивались по данным формы 3-ДОЗ как дозы от специальных исследований для органов брюшной полости и позвоночника. Оценка доз облучения в зарубежных странах проводилась по публикациям МКРЗ, отчетам НКРЗ США и публикациям в рецензируемых журналах за последние 5 лет.

Результаты. При внутрипеченочном шунтировании эффективные дозы пациентов находились в диапазоне 19-87 мЗв, средняя доза – 38 мЗв, у отдельных пациентов до 480 мЗв. При дренировании желчных протоков эффективные дозы находились в диапазоне 4-38 мЗв (9 мЗв в среднем), у отдельных пациентов до 120 мЗв. Эффективные дозы при исследованиях позвоночника находились в диапазоне 0,6-43 мЗв (8 мЗв в среднем), достигая у отдельных пациентов до 150 мЗв. При вертебропластике диапазон эффективных доз составлял от 8,5 до 13 мЗв, средняя доза – 11 мЗв, достигая в отдельных случаях до 35 мЗв. По данным формы 3-ДОЗ средние эффективные дозы для специальных исследований брюшной полости составили 6,6 мЗв, позвоночника – 6,1 мЗв.

В Российской Федерации дозы от рентгенохирургических исследований в форме 3-ДОЗ учитываются как «специальные виды исследований» и классифицированы по анатомическим областям. В связи с этим нет возможности оценить дозы при отдельных видах исследований. В зарубежных источниках также отсутствует единый подход для классификации данных исследований. Учет доз облучения ведется для отдельных видов исследования либо по анатомическим областям исследования.

Данные факторы обуславливают значительный (вплоть до порядка величины) разброс доз облучения пациентов для выбранных исследований. Дополнительное влияние оказывают также антропометрические параметры пациентов и различия в протоколах и структуре исследований.

Выводы. Различия в оценках доз облучения пациентов при проведении рентгенохирургических исследований связаны с отсутствием точной классификации данных исследований и различиями в протоколах исследований. Это обуславливает необходимость разработки методов сбора параметров проведения и структуры для наиболее распространенных и/или высокодозовых рентгенохирургических исследований для достоверной оценки уровней облучения пациентов.

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ РЕНТГЕНОХИРУРГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

З.Я. Вагидова

НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

zumrudvagidova@gmail.com

По данным формы №30 Минздрава РФ в 2018 году в Российской Федерации было проведено около 1,5 млн. рентгенохирургических вмешательств. Одной из проблем при учете и анализе данных об уровнях облучения пациентов при проведении данной группы исследований относится отсутствие общепринятой терминологии и классификации. Это обуславливает отнесение рентгенохирургических исследований в различных статистических формах и справочниках к различным категориям.

Целью данной работы является изучение подходов к классификации интервенционных вмешательств под лучевым контролем с целью выделения группы рентгенохирургических исследований в России и зарубежных странах.

Материалы и методы. Для достижения данной цели был проведен анализ данных статистических отчетных форм 3-ДОЗ системы ЕСКИД и формы 30 Минздрава РФ, 117 публикации МКРЗ, отчетов НКРЗ США, Европейской комиссии и НКДАР ООН.

Результаты. В соответствии с приказом МЗ РФ №198 от 22.06.1998г., рентгенохирургические вмешательства включают диагностические и терапевтические сосудистые и внесосудистые исследования всего организма (включая сердце) под контролем рентгеновского излучения. При этом в данную категорию не входят лучевые исследования с целью диагностики и лечения в ортопедии и травматологии. В форме №30 МЗ РФ в таблице «Интервенционные вмешательства под лучевым контролем. Рентгенохирургия, рентгеноэндovasкулярные диагностика и лечение» исследования разделены на вне и внутрисосудистые диагностические и лечебные. Данная классификация позволяет выделить необходимые рентгенохирургические исследования по анатомическим областям. В форме 3-ДОЗ рентгенохирургические исследования относятся к «специальным» и «прочим» исследованиям. Специальные исследования включают интервенционные, ангиографические, рентгено-эндоскопические исследования, бронхографию. В связи с этим, анализ отечественных уровней облучения пациентов существенно затруднен.

В отчетах и статистических справочниках зарубежных стран рентгенохирургические исследования крайне редко выделяют в отдельную категорию исследований лучевой диагностики. Как правило, они входят в категорию «Рентгеноскопия» (Fluoroscopy) вместе с исследованиями ЖКТ и сосудов с контрастом (Европейский союз, отчеты НКДАР ООН) или же, как в США, выделяются в отдельный подкласс интервенционных исследований, не связанных с сердцем (non-cardiac interventional fluoroscopy procedures). К этому подклассу также относятся диагностические и лечебные процедуры в онкологии, гинекологии, ортопедии и прочее. Наиболее детальная информация представлена в 117 Публикации МКРЗ. Под рентгенохирургическими исследованиями подразумевают лечебные и диагностические исследования посредством перкутанного доступа под контролем рентгеновского излучения для локализации патологии, мониторинга и контроля оперативного вмешательства в режиме реального времени. Также в данной публикации представлены детальные списки рентгенохирургических исследований.

Выводы. В связи с отсутствием единого подхода, является целесообразным использование терминологии и классификации рентгенохирургических исследований в соответствии со 117 Публикацией МКРЗ.

**ИНФОРМАЦИЯ О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ В МЕСТАХ
ПРОВЕДЕНИЯ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В РАДИАЦИОННО-
ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПАСПОРТАХ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗА 2018 ГОД**

Васильева О.С., Библин А.М.

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены
имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека, г. Санкт-Петербург, Россия
o.vasileva@niirg.ru

В результате реализации программы «Ядерные взрывы для народного хозяйства» на территории СССР в 1965-1988 гг. было проведено 124 мирных ядерных взрыва (МЯВ), в том числе 81 взрыв на территории Российской Федерации, произведенный в 19 субъектах. Целями МЯВ были: глубинное сейсмозондирование, интенсификация добычи нефти и газа и др. Центральные зоны взрывов до настоящего момента являются источниками потенциальной радиационной опасности.

Целью настоящего исследования было изучение соответствия радиационно-гигиенических паспортов (РГП) субъектов Российской Федерации требованиям СанПиН 2.6.1.2819-10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965-1988 годы) ядерных взрывов в мирных целях» в части представления в них результатов радиационного контроля территорий, прилегающих к месту проведения МЯВ, и результатов оценки доз облучения критической группы.

Материалы и методы. В ходе исследования осуществлялся анализ информации, содержащейся в разделе четыре РГП за 2018 г. и размещенной в Автоматизированной системе контроля радиационного воздействия Роспотребнадзора.

Результаты. Анализ показал, что в четвертом разделе РГП информация о МЯВ содержится в 14 из 19 субъектов Российской Федерации. Представляемая субъектами РФ информация, о МЯВ отличается по содержанию и форме. Отсутствует информация о взрывах, произведенных в Республиках Башкортостан, Бурятия, Калмыкия, Кемеровской области и Ямало-Ненецком автономном округе. Большинство субъектов РФ представляют ограниченный объем информации. Полные сведения о МЯВ, представлены в РГП Пермского края, Ханты-Мансийского автономного округа, Оренбургской и Ивановской областях. Следует отметить общую положительную динамику внесения информации о МЯВ в РГП. Так в 2009 г. сведения о МЯВ не представляли в РГП 12 субъектов.

Выводы. Исследование показало актуальность разработки единого методического подхода к порядку внесения информации о МЯВ в РГП.

ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ Н-3 И С-14 В АТМОСФЕРУ С ВЫБРОСАМИ РОССИЙСКИХ АЭС

М. Е. Васянович¹, А. А. Екидин¹, А. И. Крышев², И. А. Капустин³, Е. Л. Мурашова⁴

¹Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск, Россия

³МИРЭА Российский технологический университет, Москва, Россия

⁴Производственное объединение «Маяк», Озерск, Россия

vasyanovich_maks@mail.ru

Систематический контроль за поступлением Н-3, С-14 в атмосферу при нормальной эксплуатации атомных электростанций (АЭС) в России начался с 2017 года. Необходимость оценки облучения критической группы населения и нормирования выбросов трития и радиоуглерода обоснована результатами радиационно-технических обследований источников выбросов АЭС РФ и анализом данных по выбросам АЭС зарубежных стран.

Обоснование нормативов предельно допустимых выбросов для расчетов дозы облучения населения от Н-3 и С-14 основано на консервативном подходе МАГАТЭ, в котором принимается устойчивое равновесие в распределении Н-3 и С-14 между организмом человека и атмосферным воздухом.

Цель данного исследования – сравнение оценок доз на население от выбросов Н-3 и С-14 российскими АЭС рассчитанных на основе консервативного подхода и альтернативного метода, позволяющего обоснованно снизить консерватизм оценок, учитывая долю местных продуктов в пищевой корзине населения.

Материалы и методы. Для расчета годового выброса выполнены измерения объемной активности Н-3 и С-14 в источниках выбросов российских АЭС с помощью пробоотборной системы, в основе которой лежит метод барботирования газовой среды. Активность Н-3 и С-14 в счетных образцах измерялась жидкосцинтилляционным методом.

Облучение населения от выбросов Н-3 и С-14 российских АЭС рассчитана двумя способами: в предположении равновесия Н-3 и С-14 между организмом человека и атмосферным воздухом и в предположении равновесия Н-3 и С-14 между местными продуктами питания и атмосферным воздухом, но отсутствия такого равновесия для организма человека.

Результаты. Альтернативный метод в отсутствии равенства между удельной активностью Н-3 в тканях человека и атмосферном воздухе при выбросах российских АЭС, дает оценку годовой дозы ниже, чем консервативный подход, для Балаковской АЭС – в 2,4, Нововоронежской и Ростовской – 4, Калининской – 4,3, Кольской – в 7,3 раз. Альтернативный метод при отсутствии равновесия С-14 между организмом человека и атмосферным воздухом вследствие значительной части привозных продуктов питания, дает оценку годовой дозы ниже, чем консервативный подход, для Курской АЭС – в 2,1, Смоленской – 2,9, Ленинградской – 3,7, Билибинской – в 250 раз.

Выводы. Годовой выброс в атмосферу российских АЭС по данным радиационно-технического обследования составляет 6,4 – 8,4 ТБк/год для Н-3, а для С-14 находится в диапазоне 2,3 – 12,1 ТБк/год. Население в зоне наблюдения российских АЭС потребляет значительное количество привозной продукции, поэтому равновесие в распределении Н-3 и С-14 между организмом человека и атмосферным воздухом не достигается, что необходимо учитывать при расчетах годовой дозы и нормативов допустимых выбросов Н-3 и С-14. Годовая доза от выброса Н-3 и С-14 российских АЭС для критической группы населения находится в диапазоне 0,015 – 2,3 мкЗв, что значительно ниже минимально значимой дозы.

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА БЕЛАРУСИ, РАБОТАЮЩЕГО С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ю.В. Висенберг¹, Н.Г. Власова^{1,2}

¹Гомельский государственный медицинский университет, Беларусь

²Республиканский научно-практический центр радиационной медицины
и экологии человека МЗ Беларуси, Гомель, Беларусь
visenyu@gmail.com

Целью исследования явилась оценка средних годовых доз облучения персонала, занятого на работе с источниками ионизирующего излучения, в динамике за период 2000 - 2017 гг.

Материалы и методы. В Беларуси действует Единая государственная система мониторинга и учета индивидуальных доз граждан. Сбор данных по индивидуальным дозам персонала осуществляется ежегодно и поступают в Государственный дозиметрический реестр. По данным Государственного дозиметрического реестра, проведен статистический анализ количества учреждений, использующих источники ионизирующего излучения, численность и средние годовые эффективные дозы персонала в динамике за период 2000 - 2017 гг.

Результаты. Количество учреждений, использующих источники ионизирующего излучения, и численность персонала за период с 2000г. по 2017 г. возросли в 1,5 раза, в основном за счет медицинских учреждений (80%). Это объясняется увеличением количества медицинских диагностических аппаратов, а также разработкой новых методов лучевой диагностики и в связи с этим увеличением количества медицинских процедур, связанных с использованием источников ионизирующего излучения.

Средняя годовая эффективная доза внешнего облучения персонала учреждений Беларуси с использованием источников ионизирующего излучения за период с 2000 г. (3,22 мЗв) до 2017 г. снизилась в 3,2 раза. Средние годовые эффективные дозы внешнего облучения медицинского персонала (2,42 мЗв) снизились в 2,2 раза за 18 лет. В то же время, с 2000г. по 2008 г. средняя эффективная доза персонала снизилась в 4,2 раза, а с 2009 г. к 2017 г. - увеличилась в 2 раза. Средняя годовая эффективная доза внешнего облучения персонала производственных, образовательных и других учреждений (4,02 мЗв) снизилась в 4,3 раза за 18 лет. Более того, с 2000г. по 2008 г. средняя эффективная доза облучения персонала снизилась в 3,2 раза, а с 2009г. по 2017 г. снизилась в 1,5 раза.

Заключение. Дозы облучения персонала всех учреждений значительно снизились за 18 лет, несмотря на то, что с 2008 г. было выявлено небольшое увеличение. Снижение можно объяснить совершенствованием методического обеспечения и контроля в области радиационной безопасности. Наблюдаемый «перелом» в 2008 - 2009 гг. Обусловлен использованием более чувствительных индивидуальных дозиметров. С 2013 года дозы для персонала обеих отраслей практически совпадают в пределах ошибки среднего.

В то время как численность персонала в медицинских учреждениях в среднем почти в 2,5 раза превышает численность персонала промышленных и других учреждений, средние дозы в 1,6 раза ниже. Средняя годовая эффективная доза антропогенного облучения персонала в 2017 г. составила 1,02 мЗв. Дозы облучения персонала в течение 18 лет достаточно низкие и составляют в среднем 1,45 мЗв в год, что значительно ниже предела дозы для персонала. Персонал производственных, образовательных и других учреждений вносит основной вклад в дозу антропогенного воздействия на персонал.

ОЦЕНКА СРЕДНИХ ГОДОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ ДЛЯ ЦЕЛИ ЗОНИРОВАНИЯ

Н.Г.Власова^{1,2}, Ю.В. Висенберг²

¹Республиканский научно-практический центр радиационной медицины
и экологии человека МЗ Беларуси, Гомель, Беларусь

²Гомельский государственный медицинский университет, Беларусь
natalie_vlasova@mail.ru

Для обеспечения радиационной безопасности граждан в соответствии с Законами Республики Беларусь проводится отнесение населенных пунктов (НП) к зонам радиоактивного загрязнения 1 раз в 5 лет на основании данных о средней годовой эффективной дозе (СГЭД) облучения и средней плотности загрязнения территории НП долгоживущими радионуклидами.

Методы оценки СГЭД внутреннего облучения населения, основанные на определении коэффициентов перехода по звеньям трофической цепи, также, как и модели, основанные на экспериментальных данных об уровнях загрязнения дозообразующих пищевых продуктов, имеют ряд существенных недостатков. Так, модельные оценки в несколько раз превышают фактические значения доз внутреннего облучения, рассчитанные по результатам измерений на спектрометрах излучения человека (СИЧ). Оценка доз внутреннего облучения по СИЧ-измерениям – более точная и надежная, так как она обусловлена фактически поступившим в организм ¹³⁷Cs с реальным рационом питания.

Цель: Разработать и внедрить в практику обеспечения радиационной защиты населения метод оценки СГЭД внутреннего облучения жителей НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, базирующийся на экстраполяции данных СИЧ-измерений, с учётом косвенных факторов формирования дозы внутреннего облучения.

Материалы и методы. Материалом исследования явились данные 150 000 СИЧ-измерений жителей 460 НП за 2005 - 2008 гг, 400 000 СИЧ-измерений у жителей 597 НП за 2009 -2013гг. и 140 000 СИЧ-измерений у жителей 388 НП за 2015-2018гг..

Применены методы прикладной статистики: классификация НП по совокупности информативных фактор-признаков; корреляционный и регрессионный анализ.

Результаты. Разработан метод оценки средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей НП, находящихся на радиоактивно загрязнённой территории. Классификация НП была проведена по информативным фактор-признакам, оказывающие влияющие на дозообразование: численность жителей в НП, наличие леса, приходящееся на жителя. коэффициент перехода радионуклидов ¹³⁷Cs в цепи почва – молоко. В результате были выделены три региона.

Следуя рекомендациям МКРЗ оценку СГЭД облучения проводили у репрезентативного лица среди жителей НП.

Для каждого региона была построена линейная регрессия дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей НП на плотность загрязнения территории для трёх временных периодов (2010-2015, 2016-202, 2021-2025гг.). Ошибка прогноза по модели составила 45% 30%, 28%, соответственно, что свидетельствует о её высоком качестве.

Заключение. Метод явился основой для создания 3х “Каталогов СГЭД облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь”. Данные Каталогов доз наряду с плотностью загрязнения территории НП явились основанием для принятия постановлений Совета Министров Республики Беларусь по отнесению НП к соответствующим зонам радиоактивного загрязнения.

РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ОБОСНОВАНИЯ НАЗНАЧЕНИЯ РЕНТГЕНОРАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

А.В.Водоватов¹, Б.С.Нозин¹, Ю.В.Дружинина², С.А.Рыжов²

¹НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

²«НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия

vodovatoff@gmail.com

Принцип обоснования является одним из ключевых принципов радиационной защиты в медицине, который на практике реализуется посредством разработки и внедрения критериев обоснования назначения рентгенорадиологических исследований (РРИ). Для каждой нозологии критерии подразумевают ранжирование РРИ с учетом их диагностической эффективности и уровня радиационного риска, что позволяет лечащему врачу выбирать оптимальные методы исследования с учетом принципов доказательной медицины и радиационной защиты пациента. Критерии обоснования назначения РРИ широко используются в зарубежной практике, но до текущего момента отсутствовали в Российской Федерации.

Цель исследования - разработать и внедрить критерии обоснования назначения РРИ для основных нозологических групп заболеваний в рамках отдельного региона Российской Федерации.

Материалы и методы. Работа была выполнена совместно с ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва. Критерии обоснования назначения РРИ были разработаны для лучевой диагностики заболеваний желудочно-кишечного тракта, опорно-двигательного аппарата, центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, мочеполовой системы на базе существующих рекомендаций ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» «Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма». Для всех методов лучевой диагностики, использующихся при диагностике выбранных заболеваний, оценивались диагностическая эффективность (по результатам анализа отечественных и зарубежных источников), типичные дозы облучения пациентов (по данным собственных исследований ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева) и соответствующие им радиационные риски (оцененные согласно МР 2.6.1.0098-15).

Результаты. По диагностической эффективности все методы исследований были разделены на три основные группы: основной метод, дополнительный метод и метод, не показанный к применению. Каждый метод лучевой диагностики отнесен к одной из пяти категорий радиационного риска: пренебрежимый, минимальный, очень низкий, низкий и умеренный. Представлена информация по структуре типовых РРИ и по уровням типичных эффективных доз пациентов различных возрастных категорий. Разработан отдельный документ по лучевой диагностике в педиатрии.

Выводы. Данные критерии в первую очередь предназначены для врачей амбулаторно-поликлинического звена, которым на этапе диагностического поиска может понадобиться назначение дополнительных исследований для уточнения нозологической формы, а также распространенности патологического процесса. Все руководства по каждому разделу готовятся к публикации в ближайшее время и будут внедрены в медицинские организации Москвы.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ И СОЦИАЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИИ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Ю. В. Грабский¹, О. Н. Бредникова²

¹НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия

²АО «Концерн Росэнергоатом», Москва, Россия

yugrabsky@yandex.ru

В условиях существования устойчивых общественных стереотипов относительно воздействия ионизирующего излучения любой радиологической аварийной ситуации будет свойственно психотравмирующее действие, эффекты которого по своим последствиям могут значительно превзойти собственно эффекты облучения. Это обуславливает актуальность выработки оптимальной стратегии работы с населением, реализация которой направлена на обеспечение адекватного реагирования при радиационной аварии в соответствии с Общими требованиями МАГАТЭ по безопасности. Мониторинг общественного мнения и реакции средств массовой информации необходим для оперативного решения социальных и психологических проблем при ликвидации последствий аварии.

Целью исследования является экспериментальная оценка динамики формирования информационной среды на различных уровнях социальной коммуникации при аварии на радиационно опасном объекте.

Материалы и методы. Исследования выполнены с использованием информационного тренажера, представляющего собой многопостовое программно-аппаратное средство для моделирования взаимодействия субъектов информационной среды с возможностью обеспечения групповой онлайн работы в удаленном режиме. В эксперименте участвовали специалисты пресс-служб предприятий атомной отрасли и представители средств массовой информации из России и ряда зарубежных стран в количестве 75 человек. В ходе эксперимента был смоделирован сценарий развития аварийной ситуации в регионе расположения радиационно опасного объекта с медицинскими последствиями.

Результаты. Установлено, что параметрами, определяющими эффективность информационного взаимодействия в социуме при радиационной аварии, являются: оперативность передачи информации, ее достоверность и эмоциональная направленность. Выявлены различия по данным параметрам между наиболее актуальными каналами социальной коммуникации – официальными структурами (пресс-службами), средствами массовой информации и социальными сетями. Последние по масштабам и динамике информационного потока имели наибольшую эффективность на ранней фазе аварии. Полученные данные легли в основу предложений по осуществлению оперативного мониторинга информационной среды и оценке эффективности социальной коммуникации в случае радиационной аварии.

Выводы. Результаты исследования свидетельствуют о преимуществе социальных сетей перед другими каналами социальной коммуникации по эффективности влияния на информационную среду на ранней фазе радиационной аварии. Предложенный подход к мониторингу информационной среды может быть использован администрациями и пресс-службами в целях оперативной корректировки действий в ходе аварийного реагирования и ликвидации последствий аварии. Данные мониторинга послужат основанием для прогноза развития негативных социально-психологических эффектов и разработки предложений по совершенствованию методов психологической подготовки персонала радиационно опасных объектов, стратегии работы с населением и средствами массовой информации.

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК, ГЕНЕРИРУЮЩИХ ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ.

П. П. Ганцовский, А. Ю. Комаров

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

komarov_artiom@mail.ru

Ионизирующее излучение высоких энергий (ИИВЭ) находит применения в различных отраслях промышленности и медицины. Объектами, позволяющими получать ИИВЭ, являются ускорители заряженных частиц. Ввиду широкого применения и высокой значимости ускорителей их количество и энергия ускоряемых частиц продолжают расти. При поглощении первичного пучка ускоренных частиц в материалах мишени и защиты, генерируется вторичное излучение, фотонное, нейтронное, протонное, а также мюоны, пи-мезоны, К-мезоны и др. Наибольшую проникающую способность из них и, как следствие, наибольшую опасность для обслуживающего персонала за защитой при нормальной эксплуатации установок может представлять высокоэнергетическое нейтронное излучение (ВНИ).

Целью данной работы является рассмотрение различных параметров ускорителей заряженных частиц, производящих ИИВЭ, в том числе и ВНИ, а также сопоставление технических характеристик существующих дозиметрических приборов для регистрации нейтронного излучения с необходимыми измеряемыми параметрами ВНИ.

Материалы и методы. В работе были рассмотрены энергии первичных пучков ускорителей, нейтронные спектры за защитой ускорителей, технические характеристики приборов для измерения различных параметров нейтронного излучения, включая приборы с возможностью корректного измерения ВНИ, а также существующие эталоны нейтронного излучения.

Результаты. В связи с отсутствием в настоящее время отечественной нормативной базы, связанной с нормированием высокоэнергетического излучения, показано, что практически не ведется разработка средств дозиметрического контроля ВНИ.

Выводы. В виду быстрого темпа развития отраслей медицины и промышленности, что влечет за собой создание новых ускорительных установок, производящих ИИВЭ и ВНИ, показана недостаточность структуры и содержания существующей системы санитарного нормирования радиационной безопасности и связанной с этим системы аппаратурно-методического контроля на ускорителях заряженных частиц.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРИМЕРЕ ПАО «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»

Е.О. Грановская, А.М. Полещук, О.А. Дорохова

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный
медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
mephistka@gmail.com

Согласно Методическим указаниям по методам контроля МУК 2.6.5.13-07 «Порядок проведения радиационного контроля на ОАО «Машиностроительный завод», основным методом получения оценок ожидаемой эффективной дозы (ОЭД) работников является дозиметрический контроль рабочих мест (ДКРМ) на основании результатов измерений активности урансодержащих аэрозолей в воздухе рабочей зоны.

Целью данного исследования является оценка правомочности модели ДКРМ, основанной на измерении активности урансодержащих аэрозолей в воздухе рабочей зоны: посредством сравнения результатов ДКРМ с результатами выборочного индивидуального дозиметрического контроля (ИДК).

Материалы и методы. Проведен радиохимический анализ на содержание альфа-излучающих радионуклидов урана ежеквартальных парных проб (собираемых за два последовательных дня) мочи 20 работников, находящихся в контакте с открытыми радионуклидными источниками. Для всех обследованных на основании результатов измерений получены оценки ОЭД с использованием специализированной компьютерной программы ММК-02. Работа велась в соответствии с метрологически аттестованными методиками измерений и выполнения расчётов. Проведено сравнение результатов ИДК с дозовыми нагрузками, определёнными специалистами ПАО «МСЗ» при осуществлении ДКРМ.

Результаты. Полученные результаты измерений содержания альфа-излучающих радионуклидов урана в пробах мочи работников предприятия свидетельствуют о контакте обследованных лиц с открытыми урансодержащими источниками. В ряде случаев отмечено расхождение между оценками ОЭД, полученными в ходе осуществления ИДК и ДКРМ. При этом для всех обследованных работников оценки ОЭД, полученные как согласно ДКРМ, так и ИДК, не превышают долей предельных значений, установленных Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009.

Выводы. Можно предположить, что расхождение результатов ИДК и ДКРМ является указанием на систематические смещения (в противоположные стороны от истинного значения оцениваемой величины) оценок, получаемых при использовании вышеуказанных методов дозиметрического контроля. Для выявления причин данного расхождения требуется проведение специальной научно-исследовательской работы на базе предприятия. В частности, необходима верификация численных значений параметров модели, положенной в основу ДКРМ.

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ, СВЯЗАННЫЕ С АВАРИЕЙ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ МИНОБОРОНЫ РОССИИ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Громов

НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

a.gromov@niirg.ru

08.08.2019 г. в период с 11:30 по 12:30 (мск) Архангельской территориальной автоматизированной системой контроля радиационной обстановки (АТ АСКРО) в г. Северодвинск в 6-ти из 8-ми пунктов были зафиксированы превышения фоновых значений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД). Максимальные значения МАЭД регистрировались к 12:00 (мск) и варьировались в диапазоне от 0,45 до 1,78 мкЗв/час. К 12:30 гамма-детекторами системы АТ АСКРО регистрировалось снижение уровней МАЭД от 0,21 до 0,44 мкЗв/ч, к 13:00 – от 0,13 до 0,29 мкЗв/ч. К 14:30 гамма-фон в г. Северодвинск нормализовался: значения МАЭД не превышали 0,16 мкЗв/ч. По результатам многолетних наблюдений средние уровни гамма-фона для г. Северодвинск составляют около 0,11 мкЗв/ч.

Предположительно, регистрация повышенных значений МАЭД была обусловлена взрывом, произошедшим на полигоне Минобороны России, расположенном в 30 километрах от г. Северодвинска в Архангельской области, при испытании перспективного вооружения, содержащего радионуклидный источник ионизирующего излучения.

В этот же день во ГБУЗ Архангельской области «Архангельская областная клиническая больница» (ГБУЗ АО «АОКБ») поступили 3 человека, эвакуированные из очага поражения. В связи с этим 09.08.2019 г. по просьбе Управления Роспотребнадзора по Архангельской области ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева направил специалиста для оказания практической и методической помощи в ликвидации последствий радиационной аварии. По прибытию специалиста в первую очередь было решено организовать во ГБУЗ АО «АОКБ» проведение радиационного контроля (РК) поверхностного радиоактивного загрязнения личной одежды, подошв обуви, кожных и волосяных покровов пострадавших военнослужащих и медицинского персонала больницы, имевшего контакт с пострадавшими, а также медицинской утвари и рабочих поверхностей помещений, где находились пострадавшие.

В результате проведенного РК выявлено наличие сильного радиоактивного загрязнения волосяных и кожных покровов в области головы и груди пострадавших: значения плотности потока β -частиц от головы составили от 35,5 до 70 тысяч част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$), от груди – от 420 до 650 част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$). По этой причине было рекомендовано проведение санитарной обработки головы и груди пострадавших.

Также радиоактивному загрязнению подверглись медицинские отходы, образовавшихся в результате оперирования пострадавших, и внутренняя поверхность ванны, где их мыли перед оперированием: значения плотности потока β -частиц достигали 2620 част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$).

С целью ликвидации радиоактивного загрязнения в помещениях ГБУЗ АО «АОКБ» был разработан план профилактических мероприятий и дезактивации.

АНАЛИЗ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ, СВЯЗАННЫХ С ВЫЯВЛЕНИЕМ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЗАГОТОВКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОЛОМА

А. В. Громов, О. С. Васильева

НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

a.gromov@niirg.ru

В информационно-аналитическом центре Роспотребнадзора по радиационной безопасности ведется учёт донесений, поступающих от Управлений Роспотребнадзора по субъектам Российской Федерации, о возникновении чрезвычайных ситуаций санитарно-эпидемиологического характера, связанных с нарушением правил обращения с источниками ионизирующего излучения (ИИИ), в том числе случаи обнаружения ИИИ при заготовке и реализации металлолома.

Цель исследования состояла в анализе донесений о радиационных авариях и ситуациях санитарно-эпидемиологического характера, связанных с выявлением ИИИ при заготовке и реализации металлолома в Российской Федерации (РФ) за период с 2010 по 2019 годы, и разработке рекомендаций по совершенствованию аварийного реагирования органов и организаций Роспотребнадзора.

Результаты. Согласно поступившим донесениям за период с 2010 по 2019 гг. зарегистрировано 870 случаев в 27 субъектах РФ, в среднем 87 случаев в год.

Наибольшее число партий металлолома, не соответствующих требованиям по обеспечению радиационной безопасности, выявлено в таких регионах, как: Вологодская область (162 сл.), Свердловская область (140 сл.), г. Санкт-Петербург (123 сл.), Хабаровский край (121 сл.). Основными причинами повышенного уровня гамма-излучения от металлолома является присутствие в составе металлолома фрагментов различной радиационной техники или металлических труб, загрязненных в процессе их эксплуатации природными радионуклидами (в основном Ra-226).

В 54 % случаях значения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД) на расстоянии 0,1 м от поверхности металлолома превышали 1 мкЗв/ч, что требует привлечения специализированных организаций или специально подготовленных сотрудников, отнесенных к персоналу группы А по действующим нормам радиационной безопасности. В 65 % случаях партии металлолома сопровождалась протоколами радиационного контроля аккредитованных лабораторий, которые подтверждали соответствие продукции требованиям санитарных норм и правил. В 22 % случаях в донесениях не указывалась информация о наличии или отсутствии протоколов радиационного контроля. В 12 % – протокол радиационного контроля отсутствовал.

Динамические показатели радиационных аварий, связанных с нарушением правил сбора и оборота металлолома, отличаются отрицательными значениями (среднегодовой темп прироста составил -14 %), что свидетельствует о неуклонной убыли количества случаев за последние 10 лет. Связано это с тем, что пик объемов заготовки металлолома в стране пройден в 2004 – 2006 гг., когда осуществлялся массовый вывод из эксплуатации металлоемких объектов и оборудования, построенных в советское время. По настоящее время продолжается снижение объемов заготовки такого металлолома и, соответственно, количество выявляемых ИИИ в металлоломе также должно снизиться.

Заключение. Рекомендуются направлять в Росаккредитацию информацию о зарегистрированных случаях несоответствия протоколов испытаний на партии металлолома, фактическим показателям радиационной обстановки, как о факте некомпетентности аккредитованных лиц и их несоответствия критериям аккредитации.

РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ АКТИВНОСТИ ПРОБЫ, ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ В СООТВЕТСТВИИ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ЛАБОРАТОРИИ

Е. А. Дашанова, А.М. Полещук, В.В. Шлыгин

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский
биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
daschanofff@mail.ru

В настоящее время привычную теорию погрешности вытесняет концепция неопределенности, что находит свое отражение в требованиях как отечественных, так и зарубежных стандартов. Для внедрения этой концепции необходимо проводить соответствующую работу: анализ актуальной научной и нормативно-методической литературы, поиск способов унификации расчетов неопределенности, выбор подхода к оценке неопределенности, разработка алгоритмов выражения неопределенности в конкретных случаях.

Цель данного исследования. Создание универсальной рабочей инструкции для всех используемых лабораторией актуальных методических указаний по вычислению неопределенности активности пробы. Указанная инструкция должна быть применимой для любого из ряда радиоактивных изотопов, определяемых посредством альфа-спектрометрических измерений (с предварительной радиохимической подготовкой).

Материалы и методы. Для расчета неопределенности активности пробы применялся модельный подход, расчет производился методом электронных таблиц (Excel), а также с помощью следующего специализированного программного обеспечения: GUM Workbench, UncertRadio, MUKit (Measurement Uncertainty Kit).

Результаты. Была создана рабочая инструкция для расчета неопределенности активности проб, универсальная для используемых в лаборатории методик измерений. Были проведены пробные расчеты неопределенности в различных программных комплексах.

Выводы. Расчеты неопределенности при выполнении измерений активности проб с помощью вышеперечисленных программ и электронных таблиц (Excel) показали близкие результаты. Было сделано заключение о корректности разработанной рабочей инструкции.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К УСТАНОВЛЕНИЮ РЕФЕРЕНТНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

П.С. Дружинина¹, О.А. Историк², Л.А. Еремина², А.В. Водоватов¹, И.Г. Шацкий¹

¹ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

²Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области

druzhinapauline@gmail.com

Оптимизация радиационной защиты пациентов в медицине реализуется посредством установления референтных диагностических уровней (РДУ). Как правило, РДУ устанавливаются по результатам специально организованных исследований уровней облучения пациентов для выбранных рентгенорадиологических исследований на уровне региона или страны. Однако, такие исследования являются время- и ресурсозатратными; проведение таких исследований в условиях сложной эпидемиологической обстановки затруднительно. В то же время во всех медицинских организациях имеются протоколы расчета средних эффективных доз (ЭД) пациентов, использующиеся для заполнения формы 3-ДОЗ системы ЕСКИД.

Целью данного исследования являлось сравнение численных значений РДУ для отдельных рентгенографических исследований, установленных по результатам анализа протоколов расчета эффективных доз и собственного сбора данных в медицинских организациях Ленинградской области (ЛО).

Материалы и методы. В работе представлены результаты сбора данных из 8 центральных районных больниц ЛО, включающие в себя 50 цифровых рентгеновских аппаратов. Для сравнительного анализа были выбраны рентгенографические исследования органов грудной клетки (ОГК) в задне-передней проекции и брюшной полости, таза и шейного отдела позвоночника в передне-задней проекции. Для данных исследований были сформированы две выборки эффективных доз: средние ЭД из актуальных протоколов аккредитованных лабораторий и средние ЭД, рассчитанные специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева на базе собранных в медицинских организациях типичных режимов проведения рентгенографий. РДУ для каждого исследования устанавливались в соответствии с МР 2.6.1.0066-12 как 75%-перцентили распределений средних ЭД.

Результаты. Были получены следующие численные значения РДУ: ОГК – 0,11 мЗв (протоколы), 0,06 мЗв (собственные данные); брюшная полость – 0,83 мЗв (протоколы), 0,55 мЗв (собственные данные); таз – 0,79 мЗв (протоколы), 1,29 мЗв (собственные данные); поясничный отдел позвоночника – 1,42 мЗв (протоколы), 1,14 мЗв (собственные данные).

Представленные результаты указывают на значительные различия между РДУ, установленными на основании существующих протоколов расчета ЭД и по результатам собственных исследований. Данные различия объясняются процедурными ошибками при сборе данных представителями аккредитованных лабораторий (невыполнением требований к размеру выборок пациентов для оценки эффективных доз; использованием некорректных параметров проведения рентгенографических исследований; ошибками при расчете ЭД и радиационного выхода).

Выводы. Результаты исследования свидетельствуют о том, что существующие протоколы оценки ЭД пациентов непригодны для установления РДУ. Необходимо внедрять обязательный стандартизованный подход к сбору исходных параметров для расчета ЭД в соответствии с МР 2.6.1.0066-12.

ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КАК ЧАСТЬ ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

П.С. Дружинина¹, Л.А. Чипига^{1,2}, А.В. Водоватов¹

¹ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова», Санкт-Петербург, Россия
druzhininapauline@gmail.com

Объем и качество диагностической информации, полученной при проведении компьютерно-томографических (КТ) исследований, в первую очередь зависит от исправности и калибровки оборудования. Для получения качественного КТ-изображения необходимо выполнение периодических процедур контроля качества оборудования в рамках программы обеспечения качества проведения КТ исследований. Такие программы широко применяются в зарубежных странах для обеспечения качественной лучевой диагностики. В Российской Федерации в настоящее время такие программы отсутствуют.

Цель данной работы – анализ процедур контроля качества оборудования и физико-технических параметров изображений для использования в рамках программы обеспечения качества в КТ.

Материалы и методы. В работе был проведен анализ основных зарубежных методических документов, регламентирующих вопросы контроля качества в КТ: рекомендации Американского Колледжа Радиологов, Американской Ассоциации Медицинских Физиков, МАГАТЭ, производителей компьютерных томографов.

Результаты. В результате проведенного исследования в качестве обязательных для контроля параметров КТ-изображения для внедрения в отечественную практику были выбраны: уровень шума, однородность, пространственное разрешение (высококонтрастные и низкоконтрастные объекты), среднее число КТ-единиц (вода, воздух), наличие артефактов изображения, а также процедуры контроля толщины среза, точности позиционирования стола и дозы пациента. Данные процедуры контроля качества проводят представители испытательных лабораторий по аттестованным методикам не реже, чем 1 раз в 2 года, а также при замене или ремонте частей блока, влияющего на контролируемый параметр, с использованием специализированных фантомов или тест-объектов и измерительного оборудования. В качестве критериев оценки параметров КТ-изображения выбраны значения, соответствующие наиболее распространенной практике и рекомендованные к использованию в качестве критериев в международной практике.

Дополнительно для корректной работы оборудования проводят периодические калибровки. За это отвечает медицинский физик/инженер отделения или представитель организации, осуществляющей техническое обслуживание в соответствии с технической документацией диагностического оборудования.

Выводы. Включение предложенных процедур в программу обеспечения качества КТ в Российской Федерации и соблюдение их выполнения позволит следить за изменением состояния оборудования, сравнивать различные протоколы проведения исследования по качеству КТ-изображения и снизить процент некачественных и необоснованных повторных исследований.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ТРИТИЯ В ГРУНТЕ, РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ

Н.А.Еремина

ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
eremina-na@mail.ru

Тритий (^3H) – важнейший биологически значимый радионуклид. Он активно включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения как за счёт бета-излучения со средней энергией 5,7 кэВ, так и за счёт нарушения молекулярных связей, вызванных заменой атома водорода гелием, образовавшимся в результате распада трития. Это приводит к нарушению процесса синтеза органических структур в клетках при жизни индивида, а также к отдалённым наследственным генетическим нарушениям. Из этого следует необходимость контроля за содержанием трития в окружающей среде, грунте и продуктах питания, выращенных в этом грунте, прежде всего вблизи предприятий ядерного топливного цикла, где содержание трития в окружающей среде значительно превышает среднее.

Целью настоящей работы стала разработка методики определения удельной активности соединений трития в грунте, растительности и продуктах питания с применением пламенной печи Pyrolyser-6 Trio для извлечения ^3H и жидкосцинтилляционного спектрометра Tri-Carb 3180 TR/SL для измерения активности трития в пробах грунта и растительности в районе расположения атомных электростанций (АЭС).

Материал и методы. В результате пробоподготовки осуществляется перевод соединений трития из твердых проб в жидкую в виде оксида (НТО) путем сжигания в кислороде твердых проб с дальнейшим улавливанием трития в жидкостных ловушках из азотной кислоты. Данный метод позволяет проводить подготовку шести проб одновременно и улавливать до 95 % трития из твердой пробы.

Результаты. В рамках практического применения разработанной методики были проведены натурные исследования в населенных пунктах в районе расположения Балаковской и Калининской АЭС. Были отобраны пробы почвы, а также образцы картофеля. При этом были исследованы возможные пути поступления трития в картофель: через почву, грунтовые воды и воздушное поступление. В результате проведенных исследований установлено, что в поступление соединений трития в картофель значимый вклад вносит воздушный путь, где оксидная форма (НТО) играет ведущую роль. В формировании этой формы большой вклад вносит перенос факела выброса от АЭС в соответствии с розой ветров.

Заключение. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что значения измеренных активностей трития в пробах почвы и продуктах питания, отобранных в районе расположения исследуемых предприятий, имеют близкие уровни содержания трития и коррелируют с уровнями сброса и выброса с АЭС. Это дает основание полагать, что разработанную методику можно уверенно применять для контроля уровня содержания трития в грунте, растительности и продуктах питания в районе расположения атомных станций и других предприятий атомной отрасли.

Разработанная методика аттестована, а также утверждена заместителем руководителя Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации, главным государственным санитарным врачом по обслуживаемым организациям и обслуживаемым территориям В.В. Романовым.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТРЕБНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ПО ВОПРОСАМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С.А. Зеленцова, Г.В. Архангельская, Е.В. Храмцов, Р.Р. Ахматдинов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены
им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия
sveta_zelentsova@mail.ru

Информационная работа с населением по вопросам радиационной безопасности является актуальной задачей в рамках реализации мероприятий Федеральной целевой программы «Ядерная и радиационная безопасность...на 2016-2030 годы» (ЯРБ-2).

Цель данного исследования состояла в изучении информационных потребностей населения регионов Северо-Западного Федерального округа (СЗФО) по вопросам радиационной безопасности (РБ) для разработки практических мероприятий, направленных на повышение эффективности информационной работы с населением.

Материалы и методы. Для изучения информационных потребностей населения регионов СЗФО по вопросам РБ в 2016-2018 годах было проведено социологическое исследование (СИ) методом анонимного анкетирования *среди взрослого населения, постоянно проживающего на территориях г. Санкт-Петербурга, Ленинградской, Мурманской и Архангельской областей. Объем исследованной выборки составил 3974 респондента: в г. Санкт-Петербург – 1006; в Ленинградской области – 1363; Мурманской области – 802 и Архангельской области – 803.*

Результаты. По результатам СИ проанализированы: общественное мнение и оценка респондентами радиационной обстановки; информационные потребности и предпочтительные пути получения информации, а также уровень доверия к источникам информации по вопросам РБ. Установлено, что общая радиационная обстановка оценивалась респондентами в исследованных регионах как «умеренное загрязнение» (40-60 %). Среди осознаваемых населением регионов рисков для жизни и здоровья радиоактивное загрязнение относят к числу вызывающих наибольшие опасения. Показано, что респонденты мало информированы об актуальных для регионов проектах атомной отрасли.

При сравнительном анализе информационных потребностей населения регионов выявлено, что около $\frac{2}{3}$ респондентов г. Санкт-Петербург, Ленинградской и Мурманской областях не заинтересовано в получении информации по вопросам РБ, а в Архангельской области – достаточно высокий интерес населения (60 %) к сведениям о радиационной обстановке и РБ.

Отмечены и существенные различия в уровнях доверия к информационным источникам. Наряду с высоким уровнем доверия к представителям МЧС, характерным для всех регионов (40-70%), в г. Санкт-Петербург, Ленинградской и Мурманской областях также отмечен высокий уровень доверия ученым и специалистам (50-60 %), администрации объектов Росатома (50%), представителям Роспотребнадзора (около 40%) и органов власти (35-40%). В Архангельской области респонденты доверяют телевидению (около 20%) и в еще меньшей степени - представителям федеральных органов власти (13%), ученым и специалистам только 12% респондентов.

Выводы. При сравнительном анализе результатов социологического исследования были выявлены региональные различия в информационных потребностях и предпочтительных путях получения информации, а также в уровнях доверия к различным источникам информации по вопросам РБ.

При разработке программ по информационной работе с населением по вопросам РБ необходимо учесть наличие региональных особенностей.

РАДИАЦИОННЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ СЗЦ «СЕВРАО» И ДВЦ «ДАЛЬРАО»

Ю.Н. Зозуль, С.М. Киселев, Т.Н. Лащенкова, Т.И. Гимадова, В.В. Шлыгин
ГНЦ РФ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна
ФМБА России, г. Москва, Россия
julnik@list.ru

Предприятия СЗЦ «СевРАО» и ДВЦ «ДальРАО» являются радиационно-опасными объектами, деятельность которых связана с обращением с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами при утилизации судов атомного флота. Потенциальное воздействие таких предприятий на окружающую среду не ограничивается радиационным фактором. Поэтому при оценке риска для здоровья населения, проживающего в районах их размещения, следует применять комплексных подход, учитывающий также вклад нерадиационной компоненты - химического загрязнения окружающей среды.

Цель данного исследования – сравнение индивидуального канцерогенного радиационного и химического рисков для здоровья населения в районе размещения СЗЦ «СевРАО» (отд. Гремиха) и ДВЦ «ДальРАО» (б. Сысоева).

Материалы и методы. Радиационный риск оценен по результатам радиационного обследования территории населенных пунктов, включающего измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД), оценку среднегодовой эффективной дозы (СГЭД) на основе данных термолюминесцентной дозиметрии и удельной активности техногенных радионуклидов в почве, питьевой воде и пищевых продуктах. Химический риск оценен на основе содержания тяжелых металлов в почве и питьевой воде. Отбор и анализ проб проводили в соответствии со стандартными методиками аккредитованного испытательного лабораторного центра ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (аттестат № RA.RU.21БУ01).

Результаты. МАЭД на территории населенных пунктов соответствует региональным фоновым значениям. Основными техногенными радионуклидами являются ^{137}Cs и ^{90}Sr . Удельная активность в почве и питьевой воде находится на уровне регионального фона. Техногенное облучение населения в районе расположения СЗЦ «СевРАО» (отд. Гремиха) обусловлено исключительно глобальными выпадениями, и соответствует пренебрежимому уровню риска. В районе расположения ДВЦ «ДальРАО» (б. Сысоева) вклад техногенного регионального радиационного фактора составил 0,04 мЗв, что соответствует уровню приемлемого риска $2 \cdot 10^{-6}$.

В почве районов размещения площадок отмечено повышенное содержание свинца и цинка до 9 ПДК/ОДК, соответственно. Относительно фона повышено содержание хрома, никеля, меди и марганца. Ориентировочный уровень канцерогенного риска в районе расположения СЗЦ «СевРАО» (отд. Гремиха) не превышает приемлемого для населения 10^{-6} . В районе расположения ДВЦ «ДальРАО» (б. Сысоева) в подземных водах отдельных скважин, используемых в качестве источника питьевого водоснабжения, отмечено повышенное содержание мышьяка до 3 ПДК, обуславливающее повышение риска до $5 \cdot 10^{-4}$, что неприемлемо для населения в целом.

Выводы. Канцерогенный риск от воздействия радиационного и химического факторов для здоровья населения в районе размещения СЗЦ «СевРАО» (отд. Гремиха) находится на уровне приемлемого для населения. В районе размещения ДВЦ «ДальРАО» (б. Сысоева) выявлено преобладание канцерогенного риска воздействия химического фактора за счет повышенного содержания мышьяка в воде, что обусловлено региональными особенностями района и требует детальных исследований.

ДОСТИЖЕНИЕ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ РАО И ПРИРОДНОГО УРАНОВОГО СЫРЬЯ

В. К. Иванов, Е. О. Адамов, А. В. Лопаткин

АО «Прорыв», Москва, Россия

nrr@obninsk.com

Оценка радиационных рисков имеет в настоящее время ключевое значение в комплексе проблем радиологической защиты населения и персонала. На международном уровне технология подготовки окончательных требований по радиационной защите включает выработку заключений Научного комитета ООН по действию атомной радиации, рекомендаций Международной комиссии по радиологической защите и на последнем этапе – формирования стандартов МАГАТЭ. МКРЗ недавно выпущен специальный документ (103 Публикация), в котором обосновано использование величины пожизненного атрибутивного риска (Lifetime Attributable Risk – LAR) для прогнозирования канцерогенных эффектов при радиационном воздействии.

Цель данного исследования – оценка радиологических канцерогенных рисков РАО и природного уранового сырья при двухкомпонентной ядерной энергетике на базе тепловых реакторов (ТР) и быстрых реакторов (БР) с учетом возможности последних трансмутации минорных актинидов при замыкании ядерного топливного цикла.

Материалы и методы. Рассматривается сценарий развития атомной энергетики на базе ТР и БР. При этом к 2100 году БР полностью замещают ТР, мощность 2-х компонентной системы достигает максимально 90 ГВт. К этому времени будет накоплено 7523 т долгоживущих нуклидов, ресурс природного урана составит 540 тыс. т. С учетом радионуклидного состава в отходах ядерной энергетики на ТР и БР и природного урана дается сравнительный анализ канцерогенных рисков на основе технологии МКРЗ с учетом органических доз облучения.

Результаты. При равной конкурентоспособности ВВЭР и бридеров предпочтение в строительстве новых АЭС сейчас должно отдаваться реакторам на быстрых нейтронах. Это связано с тем, что последние наиболее экономно расходуют природный уран, позволяют трансмутировать минорные актиниды и окончательно решают проблему ОЯТ. Очевидно, что радиационный риск становится приемлемым, когда радиологические последствия облучения человека от природного уранового сырья и РАО, подлежащего захоронению, выравниваются.

Важно отметить, что в ПН «Прорыв» получены оценки радиационной (когда выравниваются эффективные дозы от РАО и от природного сырья) и радиологической (когда выравниваются канцерогенные радиационные риски от РАО и от природного сырья) эквивалентности в модели двухкомпонентной ядерной энергетике (ТР и БР). Установлено, что для достижения радиологической эквивалентности необходимо 99 лет выдержки РАО, а для достижения радиационной эквивалентности – 287 лет выдержки РАО. При этом наибольший вклад в дозу и риски вносит ^{241}Am . В случае открытого ЯТЦ (только ТР) радиологическая эквивалентность достигается только через 25 тыс. лет.

Выводы. Таким образом, радэквивалентность захоронения РАО при трансмутации минорных актинидов в ЗЯТЦ на базе РБН обеспечивает радикальное снижение потенциального онкориска для персонала и населения.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, Н.В. Салазкина, В.В. Ступина
НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия
kaduka@mail.ru

Минеральные природные воды подразделяются на питьевые (столовые и лечебно-столовые) и лечебные. Минеральные лечебно-столовые воды обладают выраженным лечебным эффектом и, зачастую, высокой степенью минерализации, что обуславливает их потребление в объемах, несравнимо меньших, чем потребление питьевой воды, несмотря на то, что они поступают в свободную продажу.

Цель данного исследования провести анализ радиационных показателей минеральной природной лечебно-столовой воды, реализуемой в торговой сети Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Материалы и методы. Для оценки радиационных показателей воды применяли методику радиохимического анализа, предусматривающую определение суммарных показателей радиоактивности воды (A_α и A_β) из пробы объемом 1 л, которую упаривают до сухого остатка с добавлением H_2SO_4 , прокалывают и измеряют A_α и A_β на низкофоновом радиометре. Удельные активности природных радионуклидов определяли из пробы объемом 10 л, которую упаривали до 1 л. Из полученного концентрата селективно выделяли: ^{226}Ra и ^{224}Ra соосаждением с хлористым барием, $^{228}Ac(^{228}Ra)$ с хлористым лантаном, изотопы полония, свинца, урана с гидроокисью железа с последующим радиометрическим определением активности.

Результаты. С 2005 г. по 2019 г. провели анализ 37 проб минеральной природной лечебно-столовой воды. Определили значения A_α и A_β , удельной активности ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{234}U , ^{40}K и сумму отношений значений удельной активности радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства ($A_i/УВ_i$). В соответствии с ТР ЕАЭС 044/2017, при совместном присутствии в питьевой воде нескольких радионуклидов, должно выполняться условие: $\sum(A_i/УВ_i) \leq 1,0$. Для 65% проб воды было обнаружено превышение критерия соответствия воды требованиям радиационной безопасности по A_α . Для 49% проб - по A_β . При этом для 25% из них превышение обусловлено присутствием ^{40}K , содержание которого в воде не нормируется, а для 75% присутствием в воде ^{228}Ra в диапазоне 0,23 – 1,97 Бк/кг. Диапазоны значений удельной активности составили 0,36 – 3,67 Бк/кг для ^{226}Ra , при среднем значении 0,88 Бк/кг, 0,002 – 3,38 для ^{224}Ra , при среднем значении 0,44 Бк/кг, 0,012 – 1,97 для ^{228}Ra , при среднем значении 0,59 Бк/кг, 0,001 – 0,010 для ^{210}Pb , при среднем значении 0,004 Бк/кг, 0,001 – 0,003 Бк/кг для ^{210}Po , при среднем значении 0,002 Бк/кг, 0,002 – 0,15 Бк/кг для ^{238}U , при среднем значении 0,03 Бк/кг, 0,002 – 0,19 для ^{234}U , при среднем значении 0,04 Бк/кг. Величина $\sum(A_i/УВ_i)$ варьировала в пределах 0,28 – 11 при среднем значении 4,38 и в 54% превышала критерий соответствия требованиям радиационной безопасности.

Выводы. Минеральные природные воды могут характеризоваться стабильным превышением $УВ_i$ для отдельных радионуклидов и, соответственно, несоблюдением условия соответствия требованиям радиационной безопасности. Однако для природных минеральных вод нецелесообразно разрабатывать и осуществлять защитные мероприятия, направленные на уменьшение содержания радионуклидов в воде, так как это может привести к изменению их минерального и химического состава.

ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ПОТЕНЦИАЛЬНО РАДОНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Л.Э. Карл^{1,2}

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены
ФМБА России, Москва, Россия
Lidiakarl@yandex.ru

Наибольший вклад в дозу облучения населения вносят природные источники ионизирующих излучений, которые составляют от 50 до 90% суммарной годовой эффективной дозы облучения. При этом основная доля приходится на внутреннее облучение за счет радона (^{222}Rn) и его дочерних продуктов распада (ДПР), которые могут влиять на здоровье населения. В России существуют радоноопасные территории, где концентрации ^{222}Rn в помещениях могут существенно превышать допустимое содержание, которое необходимо контролировать в жилых и общественных зданиях ^{222}Rn . При гигиенической оценке результатов есть ряд проблем, связанных с нормативно правовым регулированием, которые поднимаются в этой работе.

Целью работы является оценка доз внутреннего облучения за счет ^{222}Rn для населения, проживающего на потенциально радоноопасных территориях.

Материалы и методы. Измерения проводились интегральным методом. Измеряемой величиной являлась объемная активность ^{222}Rn . Расчет индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения населения за счет ^{222}Rn и его ДПР проводился в соответствии с МУ 2.6.1.1088-02. Нормирование ОА_{Rn} в эксплуатируемых помещениях осуществляется в соответствии с п. 5.3.3. НРБ-99/2009 по показателю ЭРОА $_{\text{Rn}}$, значение которого не должно превышать 200 Бк/м³.

Результаты. Провели мониторинг на потенциально радоноопасных территориях в г. Лермонтов, Ставропольский край и г. Бaley Забайкальский край, и получили, средние значения эквивалентная равновесная объемная активность ^{222}Rn (ЭРОА $_{\text{Rn}}$) в жилых и общественных зданиях не превышают 200 Бк/м³ и составляют в г. Бaley и г. Лермонтов соответственно 109 и 126 Бк/м³. Но при этом среднегодовая эффективная не доза (СЭГД) в г. Бaley в среднем составила 7 мЗв/год, в г. Лермонтов - 8 мЗв/год, что выше 5 мЗв/год. Число помещений с превышениями на первых этажах составляют в г. Бaley –64%, в г. Лермонтов – 60%. Медиана на первых этажах - в Бк/м³: в г. Бaley – 365, в г. Лермонтов – 422. Однако даже при 200 Бк/м³ СЭГД превышает природное ограничение 5 мЗв/год, составляет 13 мЗв/год, которое классифицируется по ОСПОРБ-99/2010, как высокое. Максимальные значения ЭРОА $_{\text{Rn}}$ составляют в Бк/м³ – 2087 в г. Бaley и 1980 в г. Лермонтов, СЭГД при этом превышает 15 мЗв/год. И только значение ЭРОА $_{\text{Rn}}$ не более 80 Бк/м³ соответствует СЭГД 5мЗв/год.

Эти данные вызывают озабоченность и требуют принятия и управленческих решений на радоноопасных территориях, и пересмотра допустимого содержания ^{222}Rn в помещениях. Риск рака легкого увеличивается линейно с долгосрочной радоновой экспозицией, и свидетельств наличия порога не выявлено. Это обстоятельство послужило основой предложения для пересмотра ВОЗ нормируемых уровней содержания ^{222}Rn , МКРЗ рекомендовала верхнее значение ЭРОА $_{\text{Rn}}$ – 150 Бк/м³.

Выводы. Опыт оценки СЭГД на потенциально радоноопасных территориях показал необходимость совершенствования требований по ограничению природного облучения населения ^{222}Rn по величине СЭГД, с учетом последних рекомендаций международных организаций и накопленного опыта регулирования

ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКЕ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

С.М. Киселев, Т.Н. Лащенкова, В.В. Шлыгин, Д.В. Исаев, С.В. Ахромеев,

В.Г. Старинский, О.Б. Шашкова

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

sergbio@gmail.com

В августе 1985 года при перезарядке атомной подводной лодки К-431 произошла ядерная авария, сопровождающийся выбросом техногенных радионуклидов и локальным загрязнением морских и наземных экосистем (Чажменский след). Учитывая активизацию хозяйственной деятельности в этом районе, актуальным является оценка статуса загрязненной территории, которая в соответствии с современной международной терминологией в области радиационной безопасности относится к объектам ядерного наследия.

Целью данной работы явилась комплексная оценка гигиенической обстановки на территории после реабилитации, загрязненной в результате аварии на атомной подводной лодке в Дальневосточном регионе России.

Материалы и методы. Оценку содержания техногенных радионуклидов в пробах окружающей среды исследовали с помощью гамма-спектрометрического, радиохимического и радиометрического методов анализа. Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма излучения (МАЭД ГИ) оценивали методом пешеходной гамма съемки (МКС-01А «Мультирад-М»). Загрязнение донных отложений техногенными радионуклидами изучали с применением погружного спектрометрического комплекса (МКС-01А «Мультирад-гамма» с блоком детектирования БДКС-63-01А). Определение тяжелых металлов в образцах почвы проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии («Квант Z. ЭТА»).

Результаты. На территории Чажменского следа выявлены локальные участки загрязнения, на которых МАЭД ГИ превышает фоновые показатели и составляет до 0,6 мкЗв/час. На остальной территории МАЭД ГИ не превышает 0,16 мкЗв/ч при среднем значении 0,10 мкЗв/ч, что соответствует региональному фоновому значению по Приморскому краю 0,14 мкЗв/ч. Основным дозообразующим радионуклидом является ^{60}Co . Содержание ^{60}Co в почве локальных участках загрязнения показывает, что почва не является РАО, но превышает уровень «неограниченного использования твердых материалов в хозяйственной деятельности» (ОСПОРБ-99/2010) и требует контроля. При исследовании донных отложений морской акватории (б. Чажма) и в пресноводном водоеме (затопленный сухой док) выявлены локальные участки загрязнения ^{60}Co и ^{137}Cs . Доза облучения населения, рассчитанная по сценарию рекреационного использования территории следа, менее 0,1 мЗв/год и не превышает основных дозовых пределов, не требует вмешательства для локальных участков загрязнения (НРБ 99/2009). Исследование химического загрязнения территории следа тяжелыми металлами выявило превышение ПДК (Cd, As, V, Pb, Mn) в почве на отдельных участках, на основной территории различий с фоновыми показателями почв тяжелыми металлами не выявлено.

Выводы. В настоящее время гигиеническая обстановка территории Чажменского следа в постреабилитационный период, в целом, характеризуется как «чистая». Вместе с тем на территории выявлены локальные участки загрязнения, на которых следует проводить радиационно-гигиенический мониторинг, направленный на постоянный контроль состояния территории.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ МАССИВОВ ДАННЫХ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАДОНОВЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

Д.В. Кононенко

Санкт-Петербургский НИИ радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева,
Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия
человека, Санкт-Петербург, Россия

d.kononenko@niirg.ru

Содержание радона и его короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе помещений характеризуется значительной суточной, недельной и сезонной вариабельностью, в качестве основных причин которой выступают изменение комплекса метеорологических условий и режима эксплуатации помещений. Радоновые обследования – это массовые одновременные измерения объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений множества зданий, которые проводятся с помощью пассивных интегральных средств измерений (твердотельных трековых детекторов, ТТД) для корректной оценки нормируемого показателя - среднегодового значения эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона. Длительность экспонирования детекторов составляет от 2 недель до 2-3 месяцев, а измерение может повторяться дважды: в теплый период года и в отопительный сезон. Такой подход позволяет практически полностью нивелировать вариабельность ОА радона.

Зачастую радоновые обследования проводятся с целью скрининга ситуации с облучением населения радоном на различных уровнях административно-территориального деления. В этом случае конечным итогом является характеристика ситуации в целом, в среднем по всем обследованным объектам или группам объектов (жилые здания, общественные, производственные), что предполагает использование определенного набора методов обработки данных, в том числе статистических. Важнейшим моментом при анализе данных об ОА радона является тот факт, что значения этой величины не описываются нормальным законом распределения, поэтому использование неадекватной меры центральной тенденции – среднего арифметического – приводит к завышению оценок средних в 1,3–2,1 раза. В дальнейшем это ведет к существенным ошибкам в оценках доз внутреннего облучения и рисков для здоровья населения при облучении радоном. Основываясь на обширном опыте лаборатории дозиметрии природных источников ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в проведении радоновых обследований, удалось развить и усовершенствовать предложенный ранее системный подход к анализу массивов данных с результатами измерений ОА радона.

Анализ начинается с валидации данных, т.е. проверки соответствия результатов метрологических характеристик использованных средств измерений (сравнение с нижней границей диапазона измерений и пределом насыщения для конкретного ТТД). Далее следует предварительный анализ данных: построение Q-Q диаграммы для визуальной оценки соответствия распределения значений натуральных логарифмов ОА радона нормальному закону; поиск выбросов с помощью модифицированного тау-теста Томпсона с дальнейшей идентификацией верхних экстремальных значений с помощью модифицированного метода Тьюки и итерационным их устранением из массива. Завершающий этап – это основной анализ данных: проверка гипотезы о нормальном характере распределения значений натуральных логарифмов ОА радона с помощью критерия Колмогорова-Смирнова (т.н. Goodness-of-Fit test) и значения натурального логарифма функции правдоподобия (т.н. Log-likelihood function); расчет основных характеристик, описывающих массив данных (медиана с 95% доверительным интервалом, геометрическое стандартное отклонение, минимум и максимум, квантили распределения уровня 0,90 и 0,95, ожидаемая доля значений ОА радона выше 400 Бк/м³).

ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЭТ-ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ^{18}F

Коренков И. П.¹, Охрименко С. Е.¹, Захарова А. В.²

¹ГНЦ РФ ФГБУ «Федеральный медицинский биофизический центр
имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва

²Первый Московский государственный медицинский университет
имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет) Минздрава России, Москва

Актуальность вопроса основана на широком применении в медицине ПЭТКТ-исследований. По уровню воздействия на пациентов они относятся к высокодозовым, однако для персонала они являются низкодозовыми, а для населения безопасными.

Целью данного исследования является оценка реальных уровней воздействия излучения на персонал и сравнение с нормативными критериями.

Материалы и методы. Протоколы радиационного контроля службы радиационной безопасности, собственные исследования индивидуальных доз.

Результаты. Проведена оценка радиационной обстановки в изотопной лаборатории ПЭТ-центра. Персонал: фасовка-введение – 2 человека, рентгенлаборант – 1. Нагрузка – 26 пациентов, 9676 МБк ^{18}F (по 387 МБк) в смену. Проведены хронометраж и оценки доз облучения. Фасовка 1,3 – 1,75 мин., общее время облучения 2 – 3 мин. Медицинская сестра: общее время облучения – 2 ч (МЭД 0,5 – 20 мкЗв/ч); инъекция – по 30 с или 13 минут за смену, МЭД 60 – 100 мкЗв/ч. Рентген-лаборант - время контакта с «активным» пациентом 7 – 8 минут. По данным собственных исследований расчётные годовые эффективные дозы персонала составили 5,2 – 7,6 мЗв. По данным индивидуального дозиметрического контроля за 2018 г.: медсестра – 6,3; фасовщик – 4,8; рентгенолаборант – 6,8 мЗв в год. Эквивалентных дозы хрусталика /кожи рук: медсестра – 7/220, фасовщик – 7/130 и рентгенлаборант – 9/25 мЗв в год. Сотрудники других подразделений получают <4 мЗв в год. В соответствии с ОСПОРБ-99/2010 проектирование и оценка результатов радиационного контроля должны исходить из 1700 часов в год, допустимая мощность дозы – 12 мкЗв/ч (6 мкЗв/ч при проектировании защиты). Реальное общее время облучения медсестры – 270 ч в год, а наиболее значимая манипуляция (инъекция) – 13 минут в смену. В действующих нормативных документах крайне слабо отражён вопрос главенствующего положения критерия «дозы» по отношению к критерию «мощности дозы».

Выводы.

1. Радиационная безопасность ПЭТ-технологий, в большей степени, обеспечена уровнем развития и проработки самой технологии и не требует специальных дополнительных проектных разработок защиты, существенно зависит от личного отношения и обученности персонала.
2. Показана актуальность аспекта облучения отдельных органов и тканей персонала изотопной лаборатории (хрусталик, кожа рук), что не отражено в должной мере в нормативных документах и не ориентирует на поиск путей их защиты.
3. Требования нормативных документов не ориентированы на дозу, как основной критерий безопасности, и приводят, с одной стороны, к требованию необоснованных мер защиты, а с другой стороны – не позволяют выявлять значимое облучение отдельных органов и тканей.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Т.А. Кормановская, Н.А. Королева, Д.В. Кононенко
НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

В соответствии с требованиями СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» в эксплуатируемых общественных зданиях, к которым относятся здания действующих детских, образовательных, медицинских учреждений, объектов культуры, эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) изотопов радона в воздухе помещений не должна превышать 200 Бк/м³. Однако, в настоящее время на территории Российской Федерации нет утвержденных методик по обследованию эксплуатируемых зданий, поэтому, как правило, при проведении обследований в рамках санитарного надзора используется методика, приведенная в МУ 2.6.1.2838-11 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности».

Цель данного исследования - оценка корректности применения методики радиационного контроля вновь построенных зданий при обследовании эксплуатируемых общественных зданий на содержание радона в воздухе помещений.

Материалы и методы. При проведении радиационного контроля в случае приемки зданий в эксплуатацию МУ 2.6.1.2838-11 устанавливает жесткие требования к условиям, при которых проводятся измерения ЭРОА изотопов радона; основным требованием является предварительная выдержка здания при всех закрытых окнах и дверях в течение не менее 12 ч, что позволяет создать в здании условия для максимального накопления радона в воздухе помещений.

Результаты. При применении подобной методики выдержки зданий в обследовании эксплуатируемых общественных зданий в некоторых регионах страны (Иркутская, Челябинская и Кемеровская области, Республика Якутия и др.) были получены значения ЭРОА изотопов радона, превышающие гигиенический норматив, что привело к закрытию ряда детских образовательных учреждений и, как следствие, – к срыву учебного процесса и паническим настроениям населения. Вместе с тем, нахождение людей в зданиях общественного назначения не является круглосуточным, при эксплуатации здания не соблюдаются строгие условия, направленные на снижение воздухообмена. Таким образом, полученные данные ЭРОА изотопов радона в закрытом 12 часов здании не отражают реальную картину облучения воспитанников и работников учреждения; для получения корректных оценок уровней содержания радона и принятия управленческих решений необходимо проводить измерения эксплуатируемых общественных зданий в рабочем режиме функционирования учреждения, в часы нахождения в нем людей, в штатном режиме работы систем вентиляции.

Выводы. Необходима разработка методического документа, устанавливающего правила проведения радиационного обследования эксплуатируемых зданий, поскольку применение методики радиационного контроля вновь построенных зданий при обследовании эксплуатируемых общественных зданий на содержание радона в воздухе помещений является некорректным, приводит к искаженным оценкам результатов и негативным социальным последствиям.

НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ХИМИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ ^{238}U ПРИ НОРМИРОВАНИИ ЕГО ПОСТУПЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А. И. Крышев, Т. Г. Сазыкина, Н. Н. Павлова

Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск, Россия

ecomod@yandex.ru

В настоящее время поступление всех изотопов урана в окружающую среду с точки зрения воздействия на население нормируется только по радиационному фактору. При этом не учитывается то обстоятельство, что масса ^{238}U , представляющая значимую активность, достаточно велика – 1 мг имеет активность 12,5 Бк. В соответствии с гигиеническими нормативами ГН 2.1.5.2280-07 уран относится к 1-му классу опасности (чрезвычайно опасные химические вещества), величина ПДК в воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования установлена на уровне 15 мкг/л.

Целью данной работы является анализ необходимости учета химической токсичности ^{238}U при нормировании его поступления в окружающую среду.

Материалы и методы. Разработан сценарий водопользования населением, учитывающий все основные пути – потребление питьевой воды из водного объекта, рыбы, картофеля, овощей и фруктов (при использовании воды для полива), молока и мяса (при водопое скота). Проведен расчет объемной активности ^{238}U в воде (Бк/л), при которой годовая доза облучения населения от водопользования составит 0,1 мЗв. Это значение пересчитано в единицы концентрации ^{238}U (мкг/л) и сопоставлено с гигиеническим нормативом 15 мкг/л. Кроме того, предел годового поступления ^{238}U с пищей для населения по НРБ-99/2009 8400 Бк/год пересчитан в мг/год и сопоставлен с ограничениями, установленными данными санитарными правилами для персонала.

Результаты. Расчетная объемная активность ^{238}U в воде, при которой годовая доза облучения населения от водопользования при рассмотренном сценарии составит 0,1 мЗв, равна 2,76 Бк/л, что соответствует 220 мкг/л ^{238}U . Это превышает установленный ПДК урана по химической токсичности в 15 раз. Предел годового поступления 8400 Бк/год соответствует поступлению ^{238}U с пищей для населения в количестве 672 мг/год, что даже превышает уровень 500 мг/год, используемый НРБ-99/2009 для ограничения поступления ^{238}U для персонала.

Выводы. Химическая токсичность ^{238}U должна учитываться при нормировании его поступления в окружающую среду. Соблюдение требований санитарных правил в области радиационной безопасности населения не гарантирует автоматического выполнения действующих требований по ограничению токсического воздействия ^{238}U на человека и окружающую среду. Рекомендуется вернуть в Нормы радиационной безопасности ограничение на предел годового поступления ^{238}U с пищей для населения с учетом химической токсичности данного вещества.

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.В. Купцов, А.М. Лягинская, Е.Г. Метляев

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный
медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
kuptsov.vk@gmail.com

В последнее время наличие современных инструментов, позволяющих обеспечить управление значительным информационным потоком, и правильно оценить данные состояния здоровья разных групп населения является критически важным. Такие инструменты как правило содержат в себе три основных этапа: обработка потока первичной информации, её структурирование, и, в конечном итоге, ее анализ, который позволяет оценить реальную обстановку. В ФМБЦ им. А.И. Бурназяна разработана система информационно-аналитического мониторинга, устанавливающая единый подход к вопросу анализа данных о здоровье населения.

Целью данной работы является разработка и непрерывное совершенствование метода обработки и анализа данных о состоянии здоровья населения, проживающего вблизи радиационно-опасных объектов, обслуживаемых ФМБА России.

Материалы и методы. При разработке системы ведения мониторинга использовались фактические данные состояния здоровья населения, проживающего в районах расположения четырех АЭС Центральных регионов России: Нововоронежской АЭС, Смоленской АЭС, Курской АЭС, и Калининской АЭС. Источником данных, необходимых для оценок популяционного здоровья послужили ежегодные отчетные формы медицинской статистики:

- сведения о заболеваемости различных групп населения (дети 0-14 лет, подростки 15-17 лет и взрослые старше 18 лет),
- сведения о злокачественных заболеваниях,
- сведения о состоянии беременных и новорожденных,
- сведения о детской инвалидности.

Результаты. Система информационно-аналитического мониторинга здоровья населения, включает:

а) форму сбора и хранения информации, которая обеспечивает оперативный доступ к собранной информации;

б) блок манипулирования данными, позволяющий согласно алгоритмам, описанным в нормативном документе, автоматизировать процесс отбора и представления данных в требуемом для анализа виде;

в) информационно-аналитическую систему обработки данных, последующий анализ которых обеспечивает возможность оценить состояние здоровья населения.

Концептуальной основой создания такого инструмента стало использование, уже ставших стандартными, сред Microsoft Access и Microsoft Excel. Microsoft Access – как хранилище исходных данных, Microsoft Excel – как табличный процессор, обеспечивающий работу с таблицами, а также, математический и графический анализ данных. Модульное строение позволяет, используя наработанные программные модули, достаточно легко адаптировать инструмент под новые поставленные задачи.

Выводы. Важным преимуществом действующей системы информационно-аналитического мониторинга здоровья населения, проживающего в районах расположения радиационно-опасных предприятий, является возможность оценки данных здоровья населения на всех этапах работы предприятия.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е.Р. Ладанова¹, Л.А. Чипига^{1,2}

¹НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

²Российский научный центр радиологии и хирургических технологий
им.акад. А. М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

LadanovaEvgenia@yandex.ru

Радионуклидная диагностика (РНД) является одной из наиболее активно развивающихся областей лучевой диагностики (ЛД) в мире. Благодаря программе развития ядерной медицины в Российской Федерации (РФ) в последние десять лет активно внедряются современные технологии РНД: позитронная эмиссионная томография (ПЭТ), однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), совмещенные с компьютерной томографией (КТ), что приводит к изменению структуры РНД и росту индивидуальных и коллективных доз.

Цель данной работы – оценка тенденций развития отечественной РНД за последние 10 лет.

Материалы и методы. Анализ изменения структуры и уровней облучения пациентов в РНД в РФ проводили по данным формы №3-ДОЗ системы ЕСКИД и формы 30 Минздрава РФ за период 2009 – 2019 гг.

Результаты. Общее количество РНД-исследований в РФ в 2018 г. составило 551 тыс. и последние 10 лет находится примерно на одном уровне. Вклад РНД в структуру ЛД определяется субъектом РФ. Наибольшее число исследований было выполнено в Москве - 136 тыс. (25% от общего числа) и Санкт-Петербурге - 67 тыс. (12% от общего числа). В 25% субъектов РФ РНД отсутствует. В остальных регионах вклад РНД в общее число исследований не превышает 5%.

Анализ формы №3-ДОЗ за последние 10 лет показал, что число функциональных исследований в 2009-2019 гг. снизилось в 3,6 раза, число скинтиграфий в среднем не изменилось, а число «прочих» исследований начало возрастать с 2014 г., за счет увеличения числа современных томографических и гибридных исследований. Это обусловлено вводом в строй новых отделений ПЭТ-диагностики с ПЭТ/КТ и реорганизацией отделений однофотонной диагностики под гибридные ОФЭКТ/КТ. При этом стоит отметить сокращение числа отделений РНД – на 32% в период с 2010 по 2018 гг.

Коллективная доза (КД) от РНД в 2018 г. составила 2464 чел.-Зв., что соответствует вкладу в 3,8% в КД от медицинского облучения. Анализ динамики КД от РНД свидетельствует о росте КД в среднем на 20% в г. в период 2014 – 2018 гг. Наибольший вклад в КД вносят исследования из группы «прочие», к которым относятся, в том числе ПЭТ/КТ всего тела – 62%. Большой вклад в КД вносят исследования скелета, как наиболее массовые – 22%. Средняя доза за исследование группы «прочие» возросла с 1,4 мЗв в 2013 г. до 13 мЗв в 2018 г., при этом наиболее высокодозовыми исследованиями являются исследования «прочих» органов и систем (11 мЗв в 2018 г.), к которым относят, в том числе и ПЭТ/КТ всего тела.

Выводы. Несмотря на внедрение современных гибридных технологий и РФП, в РФ за последние 10 лет ситуация с РНД в целом кардинально не изменилась. Число исследований находится на стабильном уровне в 500 тыс. исследований в год, при сокращении числа исследований из группы «функциональных» и ростом «прочих» (томографических) исследований. Однако рост КД, связанный с внедрением в практику современных высокотехнологических методов исследований, указывает на вероятность дальнейшего роста КД.

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.Н. Лащенова^{1,2}, И.П. Коренков¹, А.Б. Майзик^{1,3}

¹ГНЦ РФ Федеральный медицинский биофизический центр
имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³АО "Высокотехнологический научно-исследовательский институт
неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара", Москва, Россия
tlaschenova@yandex.ru

Перед выводом из эксплуатации зданий и сооружений, предварительно отделяют загрязнения, чтобы разделить отходы на промышленные и радиоактивные, для снижения затрат. При дезактивации поверхности помещений, загрязненных α -излучающими радионуклидами, трудности связаны с определением α -загрязнения, измерениями и установлением пространственного распределения радионуклидов, а также с пылеподавлением.

Целью работы является обоснование гигиенических критериев для освобождения от контроля поверхности строительных материалов для снижения объема РАО.

Материалы и методы. При превышении МАЭД ГИ загрязненных поверхностей зданий более 0,03 мкЗв/ч проводили измерения с помощью передвижного гамма-спектрометра с детектором из особо чистого германия и коллиматором; в лабораторных условиях уточняли удельную активность проб радиометрическими, радиохимическими и спектрометрическими, использовали радиометрический измерительный комплекс «CANBERRA» с блоком детектирования.

Результаты. Измеряли уровни поверхностного радиоактивного загрязнения. В результате комплексного инженерно радиационного обследования помещений при практическом выполнении вывода из эксплуатации корпуса «Б» АО «ВНИИНМ», в процессе выполнения дезактивационных работ, показано, что уровни α -загрязнения помещений менялись от 10 до 15 000 α -частиц/см²·мин, от фоновых значений до значений, превышающих допустимое поверхностное загрязнение.

Провели статистическую обработку полученных данных в программе Statistica. Для анализа массива данных использовали метод многомерной классификации - кластерный анализ, это позволили нам выделить 4 кластера по уровню поверхностного α - и β -загрязнения, частиц/см²·мин: зона I - для α - выше 50, для β - выше 10 000; зона II - для α - 5 - 50, для β - 2 000 - 10 000; III зона – для α - не более 5, для β - 2000; зона IV, которая соответствует фоновым значениям для поверхностей рабочих помещений. Такая классификация поверхности позволила выделить поверхности, которые нуждаются в дезактивации. Достоверные измерения позволяют предварительно определить объемы дезактивационных работ, планировать объемы образования РАО и прогнозировать дозовые нагрузки и способы защиты.

При проведении работ методом сухой дезактивации поверхностного загрязнения помещений выявили, что в воздухе появляется мелкодисперсные фракции пыли, с размером аэрозольных частиц менее 10 мкм (PM₁₀ и PM_{2,5}), которые плохо улавливаются СИЗ, но задерживаются в легких. Расчеты показали, что частицы ²³⁹Pu несут на себе активность n(1-10) Бк. Экспериментально установили, что для эффективного пылеподавления надо проводить распыление водного аэрозоля с размером капель от 100 до 400 мкм, далее соосаждение водного аэрозоля слоем кварцевого песка размером частиц 100-200 мкм из расчета 200-400 г/1 м².

Выводы. Методический документ с гигиеническими критериями освобождения от контроля поверхности строительных материалов и рекомендациями по категорированию РАО для изоляции позволит решить вопрос.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ ДЛЯ СКВАЖИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ОСТЕКЛОВАННЫХ ВЫСОКОРАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

А.Н. Малахова¹, В.И. Мальковский^{1,2}

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева (РХТУ)

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
РАН, Москва, Россия
lawbro@yandex.ru

Проектирование захоронений радиоактивных отходов осложняется необходимостью учитывать специфические свойства радиоактивных элементов. В связи с этим следует принимать в расчёт такие параметры как надёжность искусственных и природных барьеров, изолирующих высокорadioактивные отходы (ВАО) от биосферы; периоды полураспада содержащихся в отходах изотопов; концентрации радионуклидов; состав; тепловыделение, происходящее за счёт распада радионуклидов.

Целью данной работы является установление распределений концентраций радионуклидов и температуры в ближнем поле скважинного хранилища, содержащего остеклованные ВАО, с учётом его мультибарьерной защиты.

Материалы и методы. Работа осуществлялась посредством математического моделирования поведения системы, иллюстрирующей мультибарьерную защиту скважинного хранилища при глубине захоронения 2000 м. В составе рассматриваемых ВАО учтены америций Am-241 и кюрий Cm-244. В ходе работы были рассчитаны их концентрации в буферном слое и в ближнем поле хранилища.

Результаты. Установлены распределения концентраций америция и кюрия через 100, 200 и 1000 лет после захоронения. Были рассмотрены различные соотношения таких параметров инженерных барьеров как радиус матрицы-консерванта и толщина буферного слоя. В качестве оптимальных, при которых концентрации радионуклидов остаются на допустимо низких значениях, предлагаются радиус матрицы 0,35 м и толщина буферного слоя 0,25 м.

ПДК для Am-241 в воде составляет 70 Бк/л, что при пересчёте в концентрацию составит $5,5 \cdot 10^{-10}$ кг/м³ радионуклида, а ПДК для Cm-244 в воде составляет 14,4 Бк/л, что при пересчёте в концентрацию составит $4,8 \cdot 10^{-12}$ кг/м³ радионуклида.

Выводы. Установлено, что концентрации Am-241 и Cm-244 не превышают свои ПДК в воде при рассматриваемых условиях и параметрах инженерных барьеров (радиус матрицы остеклованных ВАО 0,35 м и толщина буферного слоя 0,25 м).

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ТЕРРИТОРИИ ПУНКТА ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ГУБЕ АНДРЕЕВА

Оськина К.Ю., Шандала Н.К., Филонова А.А., Семенова М.П.
ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
kistinkao@yandex.ru

В 1961 году хранилище отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и радиоактивных отходов (РАО), расположенное в губе Андреева, введено в эксплуатацию. В феврале 1982 года на хранилище, где в течение долгого времени в ненадлежащих условиях хранились десятки тысяч тонн радиоактивных отходов, и была нарушена инфраструктура, произошла радиационная авария – утечка радиоактивной воды из здания №5. На протяжении многих лет сотрудничества между Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации и Министерством здравоохранения и социального обеспечения Королевства Норвегия, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России при взаимодействии с коллегами с норвежской стороны выполняют радиоэкологический мониторинг губы Андреева. В настоящее время на территории промышленной площадки все еще сохраняются участки техногенного загрязнения, сформировавшиеся ранее.

Целью данного исследования является анализ проведенного радиоэкологического мониторинга на технической территории и в районе расположения отделения губа Андреева при выполнении работ по удалению ОЯТ и РАО.

Материалы и методы. Полевые и лабораторные методы измерения проб объектов окружающей среды, включающие определение содержания техногенных радионуклидов в почве, растительности и акватории спектрометрическим и радиометрическим методами, биотестирование образцов воды Allium-тестом на определение цито-, фито- и генотоксичности, измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на местности.

Результаты. Мощность дозы γ -излучения на территории объекта изменяется в диапазоне 0,03-150 мкЗв/час; наблюдается положительная тенденция к снижению верхней границы ее значений. В ходе проведения мероприятий по выгрузке и вывозу ОЯТ и РАО не допущено создание новых загрязненных участков на прилегающих территориях санитарно-защитной зоны, зоны наблюдения и за их пределами. Обнаружено локальное загрязнение прибрежной морской акватории у пирса и в районе осушки плавёмокостей, основные дозообразующие радионуклиды – ^{137}Cs и ^{60}Co (от 1 до 40 кБк/м² и от 0,5 до 7 кБк/м² соответственно). Проведение биотестирования образцов воды, отобранных из контрольных скважин на территории ПВХ, свидетельствует о потенциальной биологической опасности водной среды.

Выводы. Были проведены детальные исследования радиационной обстановки в районе расположения ПВХ ОЯТ и РАО в губе Андреева. На текущий момент наблюдается положительная динамика радиоэкологической ситуации, но есть участки и объекты, наблюдение над которыми нецелесообразно прекращать. Проведенные исследования позволили оценить радиоэкологическую нагрузку на окружающую среду и заложили основу для дальнейшего мониторинга, учитывая, что после выгрузки всего кондиционного топлива начнутся работы по выгрузке некондиционного топлива.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ

Охрименко С. Е., Алехнович А. В., Аكوпова Н. А., Ермолина Е. П., Дружинина Ю. В., Бакулина Л. А.

Российская медицинская академия непрерывного последипломного образования
Минздрава России, Москва, Россия
ooniii@mail.ru

В последние годы появляется всё больше публикаций, посвящённых современным проблемам радиационной гигиены, как в области оценки доз облучения и его последствий, так и в области организации и регулирования деятельности с радиационными источниками

Цель исследования. Обобщение актуальных аспектов радиационной гигиены, обозначение круга проблем, требующих своего решения.

Результаты. С 2014 года сравнительно большое внимание уделялось облучению органов и тканей персонала, работающего в условиях облучения (Карпов Н. А. и др., Чебоксары - 2014; Иванов С. И. и др., 2014; Хазагеров С. М. и др., 2015; Галеева Г. З. и др., 2016, Степаненко В. Ф. и др., 2017; Рыжкин А. С. И др., 2017). Непревышение уровней эффективных доз не гарантирует безопасных или оптимальных уровней эквивалентных доз хрусталика, а возможно кожи. Количество облучаемого персонала неуклонно растёт. Показана возможность переобучения хрусталика у ангиографистов: 20 мЗв за 100-200 операций при 450-500 в год. Отмечена возможность стохастики при облучении хрусталика (Шлеенкова Е. Н. и др., 2019; Охрименко С. Е. и др., Радиология-2019). Механизмы регулирования устарели, не отвечая потребностям развития и даже наоборот. Например, рентген в стоматологии: адекватный подход 90-х гг. (мощность дозы на *внешней поверхности* защиты - 0,3 мкЗв/ч) к 2020 году изменена на требование к *внутренней поверхности*. Современные медицинские технологии относятся регуляторами к «ядерным объектам», требуют оформления больших объёмов документации и расчётов защиты исходя из 1700 ч облучения в год, тогда как, например, общее время работы медицинской сестры ПЭТ-центра - не более 270 ч в год, а наиболее значимые, инъекционные манипуляции – не более 27 ч в год или 12 минут в смену. (Охрименко С. Е. и др., ОРГЗДРАВ-2020). Оценка значения мощностей доз оторвана от оценки годовой дозы, отсутствуют механизмы и методики учёта фактического времени облучения. Постоянно вскрываются факты проектирования необоснованной, избыточной защиты. Оптимизация в медицине в большей степени декларируется, чем реализуется и на деле оборачивается неуклонным ростом медицинского облучения. Существующая организационная и технологическая основа контроля доз облучения на сегодня не точна и не эффективна (Акопова Н. А., Алехнович А. В., СПб-2018). Не учтены экономические механизмы регулирования, а на основе беспороговой концепции формируется избыточная и контрпродуктивная радиофобия, как у населения, так внутри медицинского сообщества (Арутюнян Р. В., 2009). Обсуждалась проблема «практических порогов» в лучевой диагностике. (Охрименко С. Е., 2019)

Выводы. Современные технологии предъявляют новые требования к радиационной защите, в основном, в области эквивалентных доз облучения отдельных органов и тканей у персонала, работающего в условиях облучения. Принятые подходы и критерии регулирования устарели, не отвечают требованиям развития современных радиационных технологий, зачастую предъявляя избыточные, необоснованные и неадекватные требования к радиационной защите. Новых подходов, с учётом современных радиобиологических оценок и экономических механизмов, требует и проблема медицинского облучения.

ДИНАМИКА ВКЛАДА ГРИБОВ В ДОЗУ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

А. В. Панов

ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

riar@mail.ru

После аварии на ЧАЭС потребление населением, проживающим на радиоактивно загрязненных территориях, пищевых продуктов местного производства как сельскохозяйственных, так и природных (особенно грибов) с повышенным содержанием радионуклидов (прежде всего ^{137}Cs) стало важным источником формирования дополнительной дозовой нагрузки у жителей пострадавших регионов.

Целью исследования является обобщение накопленных данных о вкладе грибной компоненты в дозу внутреннего облучения населения, а также выделение факторов, определяющих точность оценок данного вклада.

Материалы и методы. Проведен анализ и обобщение результатов исследований, посвященных проблеме накопления радионуклидов в грибах и вклада этого вида пищевой продукции в дозу внутреннего облучения (ДВО) человека. Сбор данных проводился с учетом охвата результатов исследований, полученных для 25-летнего периода времени после аварии на ЧАЭС. Всего для анализа было отобрано 35 научных статей в российских и зарубежных журналах, а также монографий.

Результаты. Результаты оценок вклада грибов в ДВО населения за весь рассматриваемый период варьируют у разных авторов в очень широких пределах - от 1,5 до 80%. В одних работах даются средние величины, в других указывается разброс данных, но и он может быть достаточно велик (до 8,7 раза), что говорит о влиянии множества факторов на дозоформирование от грибной компоненты. Если для первых пяти лет после аварии на ЧАЭС вклад грибов в ДВО населения оценивался у большинства авторов на уровне 5-20%, то в настоящее время он может достигать 50% и более. Такая закономерность обусловлена различной многолетней динамикой параметров миграции радионуклидов в грибы и сельскохозяйственные продукты питания. Основываясь на собранных данных, были построены зависимости изменения во времени после аварии на ЧАЭС вклада грибов в ДВО населения. Так, в 1990 г. этот вклад составлял порядка 20-25% и варьировал в пределах 10-30%. В 2000 г. он возрос до 40% и мог колебаться в диапазоне 25-55%. К 2010 г. вклад грибов в ДВО стал около 60%, при этом данный показатель мог изменяться в пределах 40-75%. Поскольку параметры миграции ^{137}Cs из почвы в грибы в течение длительного времени после аварии изменялись незначительно, то рост вклада грибов в ДВО обусловлен снижением коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию. В связи с тем, что в последние годы КП ^{137}Cs в продукцию сельского хозяйства вышли практически на плато, можно ожидать, что дальнейшего заметного роста вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения наблюдаться не будет.

Выводы. Анализ литературных данных позволил выделить ряд факторов, влияющих на вариабельность оценок вклада грибов в дозу внутреннего облучения: отличающаяся методическая база; различные исходные данные для расчетов; сезонные изменения содержания радионуклидов в продукции; рационы питания населения; защитные мероприятия, включая кулинарную переработку; размер населенного пункта и его расстояние от леса; социальный фактор; почвенные характеристики; степень накопления радионуклидов в грибах; тип леса; влажность почв и погодные условия. Выделенные факторы могут оказать существенное влияние на конечные результаты модельных расчетов по оценке вклада грибов в дозу внутреннего облучения населения.

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ОРГАННЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ^{223}Ra -ДИХЛОРИДА ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ МКРРПЖ

А.Е. Петрова¹, Л.А. Чипига^{2,3}, А.В. Водоватов², А.А. Станжевский³

¹МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, Минск, Беларусь

²НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

³Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А. М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия
anyapetrova2797@gmail.com

Для лечения костных метастазов, уменьшения болевого синдрома и улучшения качества жизни пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы (МКРРПЖ) применяют радионуклидную терапию с ^{223}Ra -дихлоридом. В Российской Федерации данный перспективный метод радионуклидной терапии находится на этапе клинических испытаний. В связи с этим отсутствует объективная достоверная информация дозах облучения пациентов от ^{223}Ra -дихлорида и методиках их определения. В настоящее время существует две основные модели биораспределения ^{223}Ra в теле человека: модель распределения ^{223}Ra в организме здорового человека (модель МКРЗ); модель, основанная на экспериментальных данных, полученных для больных МКРРПЖ. Дозы здоровых людей от внутреннего облучения ^{223}Ra по модели МКРЗ были описаны в других исследованиях и опубликованы, однако, они не учитывают особенности распределения ^{223}Ra у пациентов больных МКРРПЖ.

Цель данной работы оценить органные дозы внутреннего облучения пациентов при использовании ^{223}Ra -дихлорида для радионуклидной терапии МКРРПЖ.

Материалы и методы. Распределение ^{223}Ra -дихлорида с течением времени с момента введения по камерам моделировали в программном обеспечении (ПО) SAAM II по модели пациентов больных МКРРПЖ. Оценку органных доз производили на основании рассчитанной накопленной активности в каждой камере ^{223}Ra -дихлорида с использованием ПО IDAC 2.1.

Результаты. Поглощенные дозы в основных радиочувствительных органах, полученные на основании модели для здоровых людей, оказались существенно выше доз, полученных с использованием модели для больных МКРРПЖ (в среднем в 22 раза). Наибольшие различия зафиксированы для печени (140 раз) и толстого кишечника (55 раз), что обуславливается различиями в скоростях перехода ^{223}Ra -дихлорида между камерами в рассмотренных моделях. Например, скорость обмена ^{223}Ra -дихлорида между плазмой крови и мягкими тканями в среднем в 16 раз ниже в модели здоровых людей по сравнению с моделью для больных МКРРПЖ; скорость выведения ^{223}Ra -дихлорида из плазмы крови в мочевыводящую систему или желудочно-кишечный тракт ниже в 23 раза. Низкие скорости перехода между камерами и выведения приводят к задержанию активности ^{223}Ra в организме и высоким дозам облучения органов и тканей.

Выводы. Выбор модели биораспределения радиофармпрепарата значительно влияет на результат оценки доз облучения органов и тканей. Результаты данной работы показали, что использование модели распределения ^{223}Ra для здоровых людей к пациентам больным МКРРПЖ приводит к завышению дозы в органах и тканях до 140 раз. Это свидетельствует о неприменимости модели для здоровых людей при оценке доз внутреннего облучения пациентов больных МКРРПЖ при радионуклидной терапии ^{223}Ra -дихлоридом и требует разработки актуализированных моделей.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА

Н.Л.Проскурякова

ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России

nlpros@mail.ru

Среди научно-практических проблем обеспечения радиационной безопасности персонала одними из наиболее значимых являются задачи разработки методологии управления радиационной безопасностью персонала; реализации основных принципов радиационной безопасности; сравнительной оценки конкурентоспособности технологий; установления контрольных уровней воздействия радиационных факторов.

Целью исследования является формулировка основных задач, проблем и мероприятий управления безопасностью персонала. Изучение проблемы организации радиационного контроля, основ методологии оптимизации радиационной защиты.

Материалы и методы. Управление радиационной безопасностью персонала представляет собой комплекс мероприятий, включающий: организацию и проведение радиационного контроля, включающего систематический контроль радиационной обстановки, контроль и учет индивидуальных доз облучения персонала; прогнозирование доз облучения персонала и разработка мер защиты; отбор персонала, имеющего достаточный резерв индивидуальной дозы, для выполнения радиационно-опасных и/или аварийно-восстановительных работ; планирование мероприятий по реализации принципа оптимизации радиационной защиты; установление КУ воздействия радиационных факторов и доз облучения; организация обучения и тренировок персонала; постоянное повышение уровня культуры безопасности производства; установление перечня лиц, относящихся к персоналу групп А и Б и др.

Большинство из вышеперечисленных мероприятий могут быть выполнены в полном объеме с помощью информационно-аналитической системы управления радиационной безопасностью персонала (ИАС УРБ), которая должна включать в себя:

- Базу данных (БД) индивидуальных доз облучения персонала;
- БД параметров радиационной обстановки в производственных помещениях и на территории промплощадки радиационного объекта;
- Пакет программ для обучения и тренировки персонала.

Результаты. Методология оптимизации радиационной защиты персонала на основе дозовых и экономических критериев, включая соответствующую ИАС, позволит получить необходимую информацию для принятия решения о целесообразности или нецелесообразности проведения оптимизации радиационной защиты на конкретных рабочих местах персонала; обосновать и оценить радиационные и экономические критерии оптимизации на конкретных рабочих местах; реализовать в полном объеме выполнение принципа оптимизации радиационной защиты на радиационном объекте.

Выводы. Методология сравнительной оценки состояния радиационной безопасности при возможном ухудшении радиационной обстановки, включая соответствующую ИАС, позволит: обосновать и оценить радиационные и экономические критерии для прогностических оценок изменения параметров радиационной обстановки на конкретных рабочих местах и стоимость выполнения компенсирующих мер по защите персонала и населения при внедрении новых технологий; повысить качество управления радиационной безопасностью персонала при изменении параметров радиационной обстановки на конкретных рабочих местах; разработать программное обеспечение оперативной оценки целесообразности проведения планируемого мероприятия, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ – ПРИКЛАДНОЙ ПОДХОД

Л.В. Репин, Рустам Р. Ахматдинов, А.М. Библин, В.С. Репин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

l.repin@niirg.ru

Характеристика риска, как заключительный этап классической схемы оценки риска, подразумевает в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 «анализ всех полученных данных, расчет рисков для популяции и ее отдельных подгрупп, ... сравнительную оценку и ранжирование различных рисков по степени их ... значимости ...».

При этом в отличие от эпидемиологических исследований, при решении прикладных задач характеристика радиационных рисков (особенно в области малых доз) сопряжена с рядом методологических особенностей. Так, для оценки пожизненных радиационных рисков используется такой показатель риска, как «detriment adjusted risk», называемый также радиационным ущербом, тогда как для оценки рисков, связанных с иными вредными факторами среды обитания, используются иные показатели пожизненного риска. Так, медицинское облучение пациентов зачастую соседствует с рисками осложнений прямо (например, аллергия на контраст при компьютерной томографии) или косвенно (риски при процедурах, связанных с лечением основного заболевания). При этом характер реализации таких рисков во времени существенно отличается от распределения радиационных рисков. Большая часть рисков осложнений реализуется в короткий промежуток времени от момента медицинского вмешательства, тогда как радиационные риски, как правило, реализуются пожизненно.

Цель исследования заключалась в разработке программного инструментария для всестороннего анализа радиационных рисков.

Материалы и методы. Оценка рисков для здоровья при различных сценариях воздействия вредных факторов среды обитания является экспертной задачей. Эксперт по оценке рисков нуждается в наиболее полной картине, с целью анализа зависимости рисков от возраста в момент облучения, возраста дожития, медико-демографических характеристик популяции и т.п. Самый доступный в настоящее время для реализации подход к анализу рисков в конкретной популяции заключается в переносе оценок риска, полученных в рамках эпидемиологических исследований, на интересующую популяцию. Для обеспечения сверки результатов вычислений три независимых группы разработчиков компьютерных программ использовали три различных программных среды: 1С Предприятие, MatLab и Wolfram Mathematica. Такой подход позволил получить хорошо согласующиеся результаты и упростил процесс отладки.

Результаты. В рамках создаваемого в ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева программного инструментария исследователь имеет возможность сравнивать как значения различных показателей пожизненного риска, используемых в моделях международной комиссии по радиологической защите, научного комитета ООН по действию атомной радиации и агентства по защите окружающей среды США. А также анализировать распределение значений всех показателей по времени для различных половозрастных групп населения различных популяций, медико-демографические данные о которых за различные годы содержатся в базе данных программы.

Заключение. Обеспечение экспертов по оценке рисков инструментарием, позволяющим всесторонне исследовать характер их распределения играет важную роль в процессе принятия различных решений, связанных с использованием ионизирующих излучений или оценкой последствий его воздействия.

О ПРЕДЛОЖЕНИЯХ ПО ВНЕСЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ В ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН "О РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ"

И.К. Романович, А.Н. Барковский, А.В.Водоватов, Т.А.Кормановская, В.С.Репин
НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия
i.romanovich@niirg.ru

Планом реализации Указа Президента РФ от 13 октября 2018 г. № 585 “Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу” предусмотрено внесение дополнений и изменений в Федеральный закон "О радиационной безопасности населения" от 09.01.1996 N 3-ФЗ и Федеральный закон "Об использовании атомной энергии" от 21 ноября 1995 г. N 170-ФЗ. Руководителем Роспотребнадзора разработка предложений по внесению изменений в ФЗ "О радиационной безопасности населения" поручена ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева.

Основная цель предлагаемых изменений связана с гармонизацией отечественного законодательства и нормативных актов в области обеспечения радиационной безопасности населения с международными рекомендациями и стандартами. В 2019 году рабочей группой Роспотребнадзора был разработан проект Норм радиационной безопасности (НРБ-2019), учитывавший новые мировые тенденции в области обеспечения радиационной безопасности. Однако, его реализация не возможна без внесения изменений в ФЗ N 3 от 09.01.1996 г. и ФЗ N 170 от 21.11.1995 г.

Предложено статью 3 ФЗ N 3 от 09.01.1996 г. дополнить пунктом 3 о типах ситуаций облучения, а именно:

3. В целях установления требований в области обеспечения радиационной безопасности ситуации облучения подразделяются на:

- **ситуацию планируемого облучения**, возникающую в результате запланированной эксплуатации источника ионизирующего излучения или запланированной деятельности (медицинское облучение, профессиональное облучение, облучение населения), способных приводить к облучению;

- **ситуацию аварийного облучения**, возникающую в результате радиационной аварии, действия или непредвиденного события, которые требуют немедленных мер в целях недопущения или минимизации неблагоприятных последствий;

- **ситуацию существующего облучения**, в которой облучение уже существует от естественного радиационного фона либо от остаточного количества радиоактивных веществ от осуществляемой ранее практической деятельности или после ситуации аварийного облучения и необходимо принимать решение о целесообразности ограничения облучения населения.

Статью 9 ФЗ N 3 от 09.01.1996 г. предлагаем дополнить следующим пунктом:

В целях реализации принципа оптимизации обеспечения радиационной безопасности устанавливаются граничные дозы облучения, референтные уровни доз облучения населения, референтные уровни содержания радионуклидов в окружающей среде, среде обитания человека, продукции, референтные диагностические уровни.

Внесение понятий о ситуациях облучения, граничных дозах облучения и референтных уровнях является фундаментальной предпосылкой для гармонизации отечественного законодательства в области обеспечения радиационной безопасности с международными рекомендациями МКРЗ и МАГАТЭ.

РЕАЛИЗАЦИЯ «РЕГУЛЯТОРНОЙ ГИЛЬОТИНЫ» В САНИТАРНЫХ НОРМАХ И ПРАВИЛАХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

И.К. Романович, А.Н. Барковский, А.В.Водоватов, Т.А.Кормановская, В.С.Репин

НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

i.romanovich@niirg.ru

К июню 2020 года подготовлены проекты гигиенических нормативов, санитарных норм и правил по обеспечению радиационной безопасности населения с целью реализации Послания Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации от 20 февраля 2019 г., т.е. реализации «регуляторной гильотины». Перед исполнителями поставлена задача по разработке системы понятных и четких требований к хозяйствующим субъектам, снятию избыточной административной нагрузки на субъекты предпринимательской деятельности, и, одновременно, не допустить снижения требований по обеспечению радиационной безопасности населения.

Первым разработанным Роспотребнадзором документом по плану реализации «регуляторной гильотины» стал проект «Гигиенических нормативов факторов среды обитания» (ГН). ГН устанавливают показатели безопасности к химическим, биологическим и физическим факторам среды обитания. Требования к источникам ионизирующего излучения изложены в приложении 8 к ГН и распространяются на:

- техногенные источники за счет нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- техногенные источники в результате радиационной аварии;
- природные источники;
- медицинские источники.

По согласованию между министерствами и ведомствами, осуществляющими государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии, принято решение о сохранении в виде самостоятельных санитарных правил Норм радиационной безопасности (НРБ) и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ). Другие санитарные нормы и правила в области обеспечения радиационной безопасности объединить в один свод правил под общим названием «Сводные санитарные правила по обеспечению радиационной безопасности» (ССПОРБ).

Проект ССПОРБ состоит из трех разделов:

Раздел 1. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Раздел 2. Обеспечение радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицинской деятельности.

Раздел 3. Обеспечение радиационной безопасности при облучении природными источниками ионизирующего излучения.

По своему содержанию приложение 8 к ГН практически повторяет требования по обеспечению радиационной безопасности, изложенные в проектах НРБ-99/2020, ОСПОРБ-99/2020 и ССПОРБ.

Основой проектов НРБ-99/2020 и ОСПОРБ-99/2020 остались НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010. Основное внимание при актуализации данных документов уделялось исключению дублирования и излишних требований, в том числе не относящихся к санитарным нормам и правилам, а имеющих техническую составляющую.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫСОКОГО СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ ВОСТОЧНЫХ РАЙОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

И.К. Романович¹, Т.А. Кормановская¹, В.Ю. Коновалов², Л.В. Бондарь²

¹НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

²Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области, Оренбург, Россия

В связи с выявлением повышенных уровней содержания радона в воде подземных источников водоснабжения восточных районов Оренбургской области была поставлена задача оценки вклада радона, растворенного в воде, в содержание радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий, имеющих централизованное водоснабжение. Для выполнения указанной задачи в 2019 г. в 435 зданиях 37 населенных пунктов Адамовского, Кваркенского, Новоорского, Домбаровского, Светлинского районов и Ясненского ГО Оренбургской области (в 121 общественном здании и в 314 жилых домах) было проведено определение уровней содержания радона в помещениях до использования воды и при использовании воды подземных источников (кухни, ванны, пищеблоки).

Цель данного исследования – анализ причин высокого содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий в населенных пунктах восточных районов Оренбургской области.

Материалы и методы. При проведении обследования в жилых и общественных зданиях Адамовского, Кваркенского, Новоорского, Домбаровского, Светлинского районов и Ясненского ГО было выполнено 1226 экспрессных измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона (793 измерения в общественных зданиях и 433 измерения - в жилых домах), и 600 измерений объемной активности (ОА) (329 - в общественных зданиях и 271 - в жилых домах) с использованием интегральных трековых радиометров радона. Также было выполнено определение содержания природных радионуклидов (ПРН) в пробах строительных материалов зданий (8 анализов) и пробах почвы вблизи зданий (4 анализа); 80 измерений плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта и 16 измерений ОА радона в почвенном воздухе вокруг зданий.

Результаты. Несмотря на то, что первоначальной задачей исследования была оценка вклада радона, растворенного в воде подземных источников, в ингаляционное облучение населения, в ходе проведения обследования было зафиксировано высокое содержание радона в помещениях жилых и общественных зданий ряда населенных пунктов вне зависимости от использования воды в помещении. Максимальные значения ЭРОА изотопов радона были получены в ГАУЗ «Кваркенская РБ» (с. Кваркено Кваркенского района) для помещений, в которые вода не подведена (слесарная мастерская и техническое помещение в подвальном этаже - 2291 и 1783 Бк/м³, соответственно). Дополнительные исследования содержания ПРН в строительных материалах и почве, данные определения ППР с поверхности грунта и ОА радона в почвенном воздухе подтвердили предположение о том, что основным источником поступления радона в здания является подстилающий грунт.

Выводы. Высокие уровни содержания радона в жилых и общественных зданиях ряда населенных пунктов Адамовского, Кваркенского, Новоорского, Домбаровского, Светлинского районов и Ясненского ГО обусловлены, в первую очередь, интенсивным поступлением радона в помещения из грунта под зданием. Оценка вклада радона, поступающего в помещения с водой подземных источников (даже при превышении в воде уровня вмешательства по содержанию радона - 60 Бк/кг) на фоне поступления радона из-под здания невозможна, т.к. ее величина на порядок ниже значений, связанных с основным источником поступления радона в здания.

ОБСЛЕДОВАНИЕ УЧАСТКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ, ОТВОДИМОЙ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО КОМПЛЕКСА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ И СЖИЖЕНИЮ ГАЗА В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*К. А. Сапрыкин¹, А.В. Громов¹, А.С. Самсонов¹, З. Я. Вагидова¹,
В. С. Загузов¹, Л.А. Еремина², Е.А. Пономаренко³*

¹НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

²Управление Роспотребнадзора по Ленинградской области, Россия

³Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области, Россия

K.Saprykin@niirg.ru

В декабре 2019 года, в ходе обследования территории под строительство объекта «Газохимический комплекс в составе Комплекса переработки этансодержащего газа» в Усть-Лужском сельском поселении Кингисеппского района Ленинградской области специалистами ОП «РГЭЦ» АО «Урангео» был обнаружен участок радиоактивного загрязнения (УРЗ).

Согласно представленным ОП «РГЭЦ» АО «Урангео» данным, на выявленном УРЗ максимальное значение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД ГИ) составляло 250 мкР/ч. Максимальное значение мощности амбиентной дозы гамма-излучения (МАД ГИ), на высоте 1 м от поверхности земли составило 0,96 мкЗв/ч. Гамма-спектрометрический анализ проб грунта показал, что максимальное значение удельной активности ¹³⁷Cs составляет 7702 Бк/кг.

В целях уточнения радиационной обстановки Управлением Роспотребнадзора по Ленинградской области организовано проведение радиационно-гигиенического обследования УРЗ силами ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области» совместно с ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева.

В результате проведённого обследования УРЗ установлено, что поисковой гамма-съёмкой, с последующим измерением МАД ГИ в точках с максимальными показаниями поискового прибора на высоте 1 м от поверхности земли и интервалом между точками 20 м, определены локальные участки неравномерно распределённого радиоактивного загрязнения с максимальным значением МАД ГИ до 0,87 мкЗв/ч. Зона выявления УРЗ тянется вдоль мелиоративной канавы, заполненной водой, с северной стороны приблизительно на 300 м, имеющей следующие координаты: 59°35'01.5" с.ш., 28°17'26,5" в.д. В ходе проведения обследования, пробы грунта отбирались с трёх глубин 0,1-0,2-0,3 м. Гамма-спектрометрический анализ проб установил, что удельная активность ¹³⁷Cs в верхнем слое составляет 1553 Бк/кг с тенденцией уменьшения на глубину, где на 0,2 м этот показатель составил 603 Бк/кг, а на 0,3 м – 243 Бк/кг. Гамма-спектрометрические исследования проб донных отложений из мелиоративной канавы выявили крайне неоднородное содержание ¹³⁷Cs, удельная активность которого составила от 60 до 1040 Бк/кг.

Таким образом, территория отводимая под строительство комплекса по переработке и сжижению газа в Ленинградской области не соответствует требованиям п.5.2.3. ОСПОРБ-99/2010. Вопрос использования территории по назначению может решаться только после проведения защитных мероприятий, предусмотренных проектом, а именно, изъятия выявленного загрязнённого ¹³⁷Cs грунта, до нормализации радиационной обстановки на участке. Согласно п. 3.11.4. ОСПОРБ-99/2010, изъятый грунт может быть ограниченно использован с указанием в экспертном заключении разрешённого вида использования, или при невозможности (нецелесообразности) использования, направлен на специально выделенные участки объектов размещения производственных отходов в соответствии с законодательством в сфере обращения с отходами производства и потребления, согласно п. 3.11.8. ОСПОРБ-99/2010.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ, ВЫРАЩЕННОЙ В ПРЕДЕЛАХ 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ БУДУЩЕЙ БАЛТИЙСКОЙ АЭС

Саруханов А.В., Крыленкин Д.В., Сидорова Е.В., Кузнецов В.К., Курбаков Д.Н.

ВНИИРАЭ РАН, Обнинск, Россия

mrrino2008@mail.ru

Сельскохозяйственная продукция является одним из основных источников поступления тяжёлых металлов в организм человека, проживающего на территориях, прилегающих к атомным электростанциям, что обуславливает особое внимание к аграрным экосистемам как объекту воздействия предприятий ядерной энергетики.

Цель данного исследования проверить среднее количество содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции выращенной в 30-ти километровой зоне вокруг будущей Балтийской АЭС на северо-востоке Калининградской области за 2015 год для оценки рисков для здоровья и жизни человека.

Материалы и методы. Обследование проводилось на основе картографического материала площадки около Балтийской АЭС и удаленных от нее сельскохозяйственных угодий в соответствии с существующей системой землепользования и структурой севооборотов хозяйств, располагающихся в 30 км зоне Балтийской АЭС. При отборе образцов руководствовались методами отбора, анализа и измерения проб, изложенными в ведомственных, общегосударственных нормативных и методических документах и утвержденных в установленном порядке. (Методические указания..., 1996, Методические указания..., 2000, Методы организации и ведения..., 2010, ГОСТ 17.4.4.02-84). Среди объектов исследования были выбраны картофель, капуста, морковь и огурцы.

Результаты. После проведения исследований, данные по содержанию тяжелых металлов в капусте составили (в мг/кг): As($0,027 \pm 0,005$) Cd($0,005 \pm 0,004$) Cu($0,25 \pm 0,05$) Fe($1,5 \pm 0,2$) Hg($0,0002 \pm 0,00005$) Pb($0,01 \pm 0,001$), в картофеле: As($0,07 \pm 0,005$) Cd($0,002 \pm 0,0001$) Cu($0,7 \pm 0,12$) Fe($4,4 \pm 0,4$) Hg($0,0009 \pm 0,0001$) Pb($0,04 \pm 0,006$), в моркови: As($0,02 \pm 0,0005$) Cd($0,004 \pm 0,001$) Cu($0,2 \pm 0,001$) Fe($1,5 \pm 0,2$) Hg($0,0006 \pm 0,000015$) Pb($0,06 \pm 0,034$), в огурцах: As($0,016 \pm 0,002$) Cd($0,001 \pm 0,00045$) Cu($0,25 \pm 0,05$) Fe($1,3 \pm 0,2$) Hg($0,0008 \pm 0,0005$) Pb($0,015 \pm 0,005$)

Вывод. После анализа данных о содержании тяжёлых металлов в сельскохозяйственной продукции на земельных угодьях в 30-км зоне вокруг строительной площадки будущей Балтийской АЭС за 2015 год, можно сделать вывод, что полученные значения не превышают критических уровней, изложенных в соответствующих нормативных документах. Следовательно, можно утверждать, что исследованная продукция, выращенная на этих землях, пригодна для употребления в пищу и не представляет угрозы жизни и здоровью человека.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАДИОАКТИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Старинская Р.А., Коренков И.П.

ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
alifesty@gmail.com

Проблема облучения населения радиоактивными материалами природного происхождения (РМПП) активно обсуждается на международном уровне. Основные направления деятельности в области регулирования данной проблемы связаны с накоплением данных о дозовых нагрузках персонала и населения в различных отраслях промышленности, связанных с добычей и переработкой РМПП, а также поиском оптимальных регуляторных решений по обеспечению радиационной безопасности населения. Актуальность данной проблемы в России не вызывает сомнений, учитывая темпы развития перерабатывающих отраслей промышленности, а также тот факт, что около 86% суммарной дозы облучения населения РФ приходится на ПИИИ.

Материалы и методы. Анализ проблемы проведен на основе изучения законодательных и нормативно-правовых документов (федеральные законы, постановления правительства, приказы федеральных органов исполнительной власти, нормативно-методические документы), научной литературы в исследуемой области.

Целью настоящей работы являлся анализ состояния проблемы облучения населения от радиоактивных материалов природного происхождения и выявление проблем, требующих совершенствования регулирования в этой области.

Результаты. Основы нормативно-правового регулирования радиационной безопасности населения от РМПП были разработаны в СССР и применяются в Российском законодательстве в настоящее время. Учитывая современные рекомендации МКРЗ и МАГАТЭ, отечественная регуляторная база нуждается в актуализации и гармонизации с требованиями международных организаций. В этом отношении требует серьезной проработки вопросы регулирования обращения с радиоактивными отходами природного происхождения, их классификацией. Наиболее остро эта проблема стоит в отраслях добывающей промышленности, где эффект концентрирования РМПП достигает больших значений (предприятия по добыче минерального и органического сырья). На этих предприятиях дозы облучения персонала многократно превышают пределы дозы от техногенных источников облучения и создают реальную угрозу здоровью человека. Важно учитывать, что природные материалы являются источником не только радиационной опасности, но и химической токсичности. Поэтому принятие регулирующих решений должно основываться на методологии комплексной оценки рисков.

Выводы Круг выявленных проблем в области регулирования безопасности населения от РМПП требует комплексного участия всех заинтересованных ведомств и научных институтов в ее решении. Первоначальным этапом данного взаимодействия является формирование «дорожной карты» и обсуждение ее с заинтересованными сторонами.

РАДОНОВЫЙ МОНИТОРИНГ ДЕТСКИХ САДОВ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

В.Г. Старинский, Ю.С. Бельских, В.В. Шлыгин, С.М. Киселев

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный
медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
vitalstar90@mail.ru

Обеспечение радиационной защиты населения при воздействии радона является важной гигиенической проблемой. Сложность определения нормируемой величины – среднегодовой ЭРОА радона обусловлена высокой суточной и сезонной вариабельностью концентрации радиоактивного газа в помещениях. Для осуществления действенного надзора за состоянием эксплуатируемых помещений по содержанию радона в воздухе помещений в международной практике мониторинга активно применяются методы интегральной дозиметрии.

Целью данной работы являлось исследование содержания радона в воздухе детских дошкольных и образовательных учреждения г. Большой Камень (Приморский Край, ДВФО).

Материалы и методы. Для оценки содержания радона применяли отечественные трековые пленочные экспозиметры РЭИ-4 на основе нитроцеллюлозы типа Kodak LR-115. Анализ результатов осуществляли с применением комплекта аппаратуры "ТРЕК-РЭИ-1М" на основе электроискрового счета. Исследования суточной вариабельности содержания радона в помещениях ДОУ проводили с применением радоновых мониторов Radon Scout. с применением интегрального трекового метода с использованием камер РЭИ-4 комплекта ТРЕК-РЭИ 1М.

Результаты. Проведено скрининговое радоновое обследование всех (26) детских садов и школ г. Большой Камень. Среднегодовые уровни ЭРОА радона в эксплуатируемых помещениях исследуемых объектов варьируют от <10 до 220 Бк/м³ (сред. геом. – 47 Бк/м³). Для сравнения следует отметить, что ЭРОА радона в воздухе эксплуатируемых жилых помещений г. Большой Камень находятся в диапазоне <10 до 59 Бк/м³ (сред. геом. – <10 Бк/м³). Полученные данные подчеркивают приоритетность надзора за состоянием радонобезопасности детских садов и школ, как потенциальных объектов повышенного риска при облучении населения природными источниками излучения. Следует отметить, что среднесуточные оценки объемной активности радона с применением методов интегральной дозиметрии, как правило, выше по сравнению с исследуемым показателем на период пребывания детей в ДОУ, причем их выраженность сильно варьирует в зависимости от исследуемых помещений ($\text{ЭРОА}_{\text{среднесут.}}/\text{ЭРОА}_{\text{период пребывания в саду}}$ – от 1 до 4).

Выводы. Существенным преимуществом применения интегрального метода является возможность достоверной характеристики помещений и сооружений в целом на предмет среднегодового содержания радона в воздухе за относительно короткий период времени (один год). Проведенные исследования позволили ранжировать детские сады и школы по степени радоноопасности и таким образом оптимизировать объем контроля надзорными органами. Однако, при оценке доз облучения полученные с применением методов интегральной дозиметрии данные надо применять с осторожностью, учитывая тот факт, что экспозиция исследуемых контингентов радоном ограничена временем их нахождения в помещениях. Для оценки доз облучения целесообразным является применение интегральных радоновых экспозиметров с возможностью ограничения времени экспозиции.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ТРИТИЯ НА АЭС С ВВЭР

П. П. Сурин,

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

psurin@fmbcfmba.ru

Развитие атомной энергетики неразрывно связано с решением проблем по обеспечению радиационной безопасности персонала АЭС и населения, проживающего в районе расположения АЭС. В настоящий момент методы очистки технологических сред, как водных, так и воздушных, позволяют уловить большинство радионуклидов. Однако не существует экономически доступных методов и установок по очистке сбросов и выбросов АЭС для трития.

Целью данной работы является создание имитационной модели миграции и переноса трития на АЭС с ВВЭР, позволяющей решить задачу миграции и накопления трития на АЭС с ВВЭР. Такая модель позволит на стадии проекта оценить дозовые нагрузки на персонал и население, а также поможет в решении проблемы обращения с тритиевыми средами на АЭС и правильному учету их.

Материалы и методы. Для создания имитационной модели были использованы проектные материалы АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР ТОИ. Кроме того, проведены около 300 измерений активности трития в технологических системах Балаковской АЭС для проведения процесса верификации разработанной модели. Измерения проводились согласно методикам разработанным в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им А.И.Бурназяна ФМБА России. По результатам сравнения реальной и расчётной активности трития в технологических системах АЭС, имитационная модель была верифицирована.

Результаты.

Имитационная модель переноса и накопления трития на АЭС с ВВЭР позволила определить дозы на персонал и население для ВВЭР-1000(Балаковская АЭС) и ВВЭР ТОИ(Курская АЭС-2). Однако для АЭС с ВВЭР, находящихся в эксплуатации, наблюдается неправильный учет выхода трития со сбросом и выбросом, что говорит о необходимости совершенствования учета трития на АЭС с ВВЭР. Для проекта ВВЭР ТОИ при помощи имитационной модели были рассчитаны годовой сброс и выброс трития.

Выводы. Разработанная имитационная модель применима для расчета оценки воздействия трития при проектировании АЭС с ВВЭР. Полученные результаты свидетельствуют, что проблема учета и обращения с тритийсодержащими средами требует дальнейшего совершенствования методологии обращения и учета с тритиевыми средами на АЭС с ВВЭР.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ МЕТОДИКАМИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.В. Тутов, В.А. Некрасов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Санкт-Петербург, Россия

v.nekrasov@niirg.ru, pustoshka@inbox.ru.

Радиационная безопасность является одним из важнейших элементов национальной безопасности. Наличие компетентных Испытательных Лабораторий (далее ИЛ) радиационного контроля, способных выполнять необходимые для обеспечения радиационной безопасности измерения - обязательный элемент государственной системы обеспечения радиационной безопасности. С момента принятия ФЗ № 412 «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» все ИЛ имеют одинаковые условия аккредитации, саму аккредитацию проводит независимый орган Росаккредитация, а критерии приближены к международным стандартам.

Цель данного исследования – внести максимальную ясность в вопрос обеспечения ИЛ методиками выполнения измерений для проведения радиационного контроля техногенных источников ионизирующего излучения (далее ИИИ).

Материалы и методы. Анализ нормативных документов, санитарных правил и норм, руководств по эксплуатации приборов, протоколов радиационных обследований.

Результаты. С момента образования Росаккредитации несколько раз менялись формы для заполнения области аккредитации. В форме, актуальной на данный момент, существует столбец под названием "Документы, устанавливающие правила и методы исследований (испытаний), измерений" (далее МВИ), в котором должна быть отражена информация об используемых в ИЛ МВИ. МВИ должна содержать в себе информацию о том, как получить измеренное значение измеряемой величины и ее абсолютную расширенную неопределенность для тех условий, в которых проводилось измерение. В ИЛ Роспотребнадзора, а также в других лабораториях, в качестве методик выполнения измерений техногенных ИИИ использовались частные санитарные правила (далее СанПиН) и методические рекомендации (далее МР). Однако данные документы не предусматривают правила измерения мощности амбиентной дозы, а лишь определяют количество и локализацию точек измерения при проведении радиационного контроля обследуемых объектов, а также порядок определения соответствия полученных результатов нормативным требованиям. В качестве МВИ мощности амбиентной дозы ионизирующего излучения целесообразно использовать Руководство по эксплуатации на дозиметр, которым проводится данное измерение. Руководство по эксплуатации содержит в себе методику проведения измерения измеряемой величины и расчета ее неопределенности, метрологически аттестованную при включении прибора в государственный реестр средств измерений. Особое внимание следует уделить необходимости учитывать условия применения данной методики, то есть контролировать соответствие всех предусмотренных МВИ параметров внешней среды нормальным условиям эксплуатации дозиметра. Перед началом проведения радиационного контроля следует измерить указанные параметры поверенными приборами, убедиться, что их измеренные величины не выходят за пределы значений, соответствующих нормальным условиям эксплуатации дозиметра, и в дальнейшем, обязательно отразить в протоколе измерений.

Выводы. В качестве МВИ ИЛ правильно использовать руководство по эксплуатации дозиметра, так как оно содержит метрологически аттестованную МВИ получения измеряемой величины и её неопределённости.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БИООБЪЕКТОВ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

А.В. Титов, Н.К. Шандала, В.А. Серегин

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
titov_fmbc@mail.ru

В настоящее время в документах МАГАТЭ и МКРЗ особо подчеркивается, что при построении системы радиационной безопасности человека, должны обеспечиваться условия устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также сохранения биологического разнообразия.

В ситуации существующего облучения при проведении восстановительных работ на территориях, загрязненных в результате аварий или деятельности радиационно-опасных предприятий, для обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего и ведущего хозяйственную деятельность, регулирующий орган должен установить референтные уровни. Референтные уровни, как правило, выражаются в виде годовой эффективной дозы для репрезентативного лица в диапазоне 1–20 мЗв.

Целью данного исследования является оценка обеспечения радиационной безопасности биообъектов на загрязненных площадках при различных сценариях их использования после проведения восстановительных мероприятий.

Материалы и методы.

Рассмотрены площадки, загрязненные ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs в результате аварии на реакторах, естественными радионуклидами (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U) на площадках предприятий по добыче и переработке урановых руд и ^{239}Pu , ^{241}Pu , ^{241}Am в результате аварии с ядерными боеприпасами.

Рассмотрены следующие варианты использования площадок после проведения восстановительных мероприятий:

- Рекреационный (использование в качестве парка отдыха для прогулок или игр;
- Промышленный (основную часть времени работники проводят в помещениях);
- Сельскохозяйственный;
- Учебное заведение;
- Проживание и ведение хозяйственной деятельности.

Значения остаточной удельной активности радионуклидов в почве, при которой дозы для репрезентативного лица составляют 1 мЗв/год, определялись из данных, представленных в работе NRPB-W36 (2003).

Дозы облучения биообъектов (олень, крыса, змея, пчела, дождевой червь, сосна, трава) определялись с использованием дозовых коэффициентов, приведенных в Публикации 108 МКРЗ.

Результаты и выводы

Проведенные оценки свидетельствуют о том, что при даже принятии для восстановительных мероприятия на загрязненных площадках референтного уровня 1 мЗв, при некоторых сценариях использования площадок будут превышены референтные значения для биообъектов, рекомендуемые в ICRP Publication 108, за исключением змей.

В основном превышение имеет место для площадок, загрязненных ^{90}Sr , природными радионуклидами, а также ^{239}Pu и ^{241}Am .

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТОВ СИНЕРГИЗМА ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ ГИПЕРТЕРМИИ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С СОЛЯМИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

М.С. Толкаева, В.Г. Петин

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»

Минздрава России, 249036, Обнинск, Россия

marya.tolkaeva@yandex.ru

Изучение закономерностей проявления синергизма с последующей интерпретацией полученных результатов после одновременного действия гипертермии с ионизирующим излучением или различными солями тяжёлых металлов является актуальной проблемой современной радиобиологии и экологии. Совместное применение лучевой терапии или гипертермии с различными химическими препаратами, содержащими тяжёлые металлы, приводит к существенному увеличению общей эффективности инактивации клеток, а также позволяет одновременно снизить применяемые дозы и концентрации для окружающих тканей и всего организма в целом. Тяжёлые металлы занимают особое место среди приоритетных химических веществ, загрязняющих биосферу. Их синергизм с другими физическими агентами приводит к образованию дополнительного негативного воздействия на живые организмы. Учёт подобных эффектов необходим при нормировании факторов окружающей среды.

Цель данного исследования – выявление универсальных закономерностей проявления синергизма при одновременном действии гипертермии с ионизирующим излучением или различными солями тяжёлых металлов и качественная интерпретация полученных результатов.

Материалы и методы. В проведённых экспериментах было изучено проявление синергического взаимодействия гипертермии с ионизирующим излучением или с солями тяжёлых металлов различной концентрации на выживаемость диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800). Суспензию клеток помещали в хорошо прогретые растворы солей тяжёлых металлов или непосредственно перед облучением ионизирующим излучением и выдерживали необходимое время, после чего высевали на твёрдую питательную среду. Для оценки результатов использовали выживаемость клеток, регистрируемую по способности облучённых клеток образовывать видимые глазом макроколонии. На этом основании строили кривые зависимости выживаемости от дозы или продолжительности применения воздействующих агентов и рассчитывали коэффициент синергического усиления.

Результаты. Продemonстрировано наличие синергического взаимодействия – экспериментальные кривые выживаемости располагались ниже теоретически ожидаемых при независимом сложении эффектов от каждого агента. Зависимости коэффициента синергического усиления от действующей температуры после её одновременного применения с ионизирующим излучением или солями тяжёлых металлов во всех случаях носят куполообразный характер.

Выводы (заключение). Приведённые в данной работе результаты подтверждают универсальность ранее выявленных закономерностей проявления синергизма для одновременного комбинированного действия солей тяжёлых металлов с различными физическими факторами, а так же демонстрируют возможность применения теоретической модели синергизма для интерпретации полученных данных.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ БЕЛОЯРСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова, Л.Н. Михайловская
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия
bfs_zar@mail.ru

Динамизм радиэкологической ситуации, связанный с изменениями в технологическом цикле БАЭС, возможность нештатных событий и ввод в эксплуатацию четвертого энергоблока БН-800 обуславливают необходимость разработки и внедрения системы радиэкологического мониторинга.

Цель данного исследования заключается в разработке и внедрении системы радиэкологического мониторинга в зоне влияния Белоярской АЭС, учитывающей как источники загрязнения, так и ландшафтно-географические и социально-экономические особенности конкретного региона.

Материалы и методы. Измерения содержания ^{137}Cs проводили на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре фирмы «Ortec» (США) с коаксиальной детекторной системой на базе высокоочищенного германия (HPGe) с эффективностью 40% при ошибке измерения не более 10%. Содержание ^{90}Sr определяли радиохимическим методом. Измерение содержания изотопов плутония после выделения их на ионообменной смоле и электролитического осаждения на дисках из нержавеющей стали, проводили на многоканальном альфа-спектрометре – «Ortec» (США).

Результаты. Обследованная площадь условно разделена азимутальными линиями на 8 секторов, ориентированных по сторонам света. В каждом из выделенных азимутальных секторов, для проведения долговременных наблюдений выбраны стационарные участки. С юга к ближней 3х-километровой зоне БАЭС примыкает МО г. Заречный, в связи с этим селитебная территория выделена как самостоятельный объект. Для отбора проб на окраинах города были выбраны стационарные участки, местоположение которых ориентировано по сторонам света. На выбранных и пронумерованных участках определены их географические координаты и проведено почвенно-ботаническое описание. В дальнейшем проводился отбор проб снежного и почвенного покрова. Пробы снега отбирали в конце периода снегостояния с учётом площади и мощности снежного покрова. В летний период в местах отбора снега были опробованы почвы. Снежный покров аккумулирует газоаэрозольные выпадения АЭС в осенне-зимний период, почвенный - даёт интегральную их характеристику, а отдельные виды растений, благодаря их высокой аккумулирующей способности, являются индикаторами радиоактивного загрязнения естественных экосистем.

Выводы. Предложенная концептуальная модель мониторинга в зоне влияния Белоярской АЭС обеспечивает слежение за содержанием долгоживущих дозообразующих радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$) в объектах окружающей среды, играющих роль природных планшетов. Применение предлагаемой модели радиэкологического мониторинга даст возможность оптимизировать взаимоотношение в системе АЭС-окружающая среда и, как следствие, обеспечить улучшение качества жизни населения, проживающего вблизи атомно-энергетического объекта.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИХТИОФАУНЫ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

В.Н. Трапезникова, А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, А.П. Платаев
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия
bfs_zar@mail.ru

В связи с развитием ядерной энергетики многие водные экосистемы оказались подвержены поступлению радиоактивных веществ. Рыба, как элемент биоты, способна накапливать радионуклиды.

Цель исследования. Проанализировать многолетние данные по содержанию долгоживущих техногенных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы за период 2004-2016 гг. и Белоярского водохранилища за период с 1977 по 2018 гг. Выполнить радиационно-гигиеническую оценку рыбы как пищевого продукта по двум критериям: а) допустимые уровни удельной активности радионуклидов (СанПиН 2.3.2.1078-01); б) с использованием показателя соответствия B и неопределенности его определения ΔB (ГОСТ 32161-2013 и ГОСТ 32163-2013).

Материалы и методы. Измерения содержания ^{137}Cs проводили на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре фирмы «Ortec» (США) с коаксиальной детекторной системой на базе высокоочищенного германия (HPGe) с эффективностью 40% при ошибке измерения не более 10%. Содержание ^{90}Sr определяли радиохимическим методом. Радиометрию полученных препаратов проводили на малофоновой установке УМФ – 2000 с нижним пределом обнаружения 0,2 Бк.

Результаты. Максимальные удельные активности ^{90}Sr и ^{137}Cs зарегистрированы в ихтиофауне Течи, где по 11 видам рыб средние величины составили по ^{90}Sr - 1379 ± 882 Бк/кг, что превышает гигиенические требования СанПиН 2.3.2.1078-01 - 100 Бк/кг. Содержание ^{137}Cs было равно $41,9 \pm 31,6$ Бк/кг при допустимом уровне 130 Бк/кг. Оценка результатов с использованием критерия радиационной безопасности ($B + \Delta B$) показала, что он в пробах рыбы Течи превысил значение единицы, что свидетельствует о непригодности данной рыбы в качестве пищевого продукта. В реках Иртыш и Обь содержание радионуклидов в рыбе значительно более низкое и достаточно стабильное. В период с 1977 по 1989 гг. на Белоярском водохранилище отмечены единичные случаи накопления в рыбе техногенных радионуклидов в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы. В 1977 году в районе Теплого залива была отловлена щука с содержанием ^{137}Cs – 133 Бк/кг, а в 1980 г. в пробах плотвы установлено содержание ^{137}Cs , равное 155,4 Бк/кг. В последующие годы содержание радионуклидов в рыбе водоема-охладителя существенно снизилось.

Выводы. Рыба всех видов, обитающая в Тече, не пригодна для использования в пищу по критериям СанПиН 2.3.2.1078-01, ГОСТ 32161-2013 и ГОСТ 32163-2013. Рыба Обь-Иртышской речной системы, ареал обитания которой находится за пределами Течи, отвечает требованиям, предъявляемым к рыбной продукции. На ранних этапах работы Белоярской атомной станции были возможны случаи накопления в рыбе техногенных радионуклидов в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы. В настоящее время рыба Белоярского водохранилища по радиационному фактору абсолютно безопасна для употребления в пищу.

Исследование ихтиофауны Обь-Иртышской речной системы выполнены при финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 18-9-4-9. Отбор и исследование материала из водоема-охладителя выполнены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕБУЕТ КОРРЕКТНЫХ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.Р. Туков, И.Л. Шафранский, О.Н. Прохорова

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

Состояние радиационной безопасности, в основном, определяет риск возникновения у человека или его потомства какого-либо эффекта как результата облучения по суммарной накопленной эффективной дозе от всех видов облучения. К сожалению, в настоящее время в мире отсутствуют медико-дозиметрические регистры, отвечающие этим требованиям.

В исследование включена информация о 12 000 ликвидаторах последствий аварии на ЧАЭС – мужчин, имеющих данные о дозах, полученных во время работы в 30-километровой зоне из числа работников атомной промышленности. У этих же лиц собраны дозы профессионального внешнего облучения работников основного производства с начала их работы по 2012 г.

Результаты исследования показали, что расчёт риска заболевания злокачественными новообразованиями доз различных видов облучения (ЧАЭС и ЧАЭС+дозы профессионального облучения) приводит к получению значительно отличных друг от друга результатов, а использование только одного из них делает некорректными нормативы радиационной безопасности.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ, ОБРАБОТАННОЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, МЕТОДОМ ЭПР-СПЕКТРОМЕТРИИ

О.В. Тхорик, Е.И. Карпенко

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия

oxana.tkhorik@gmail.com

Современный мир невозможно представить без радиационных технологий. Они применяются повсеместно от атомной энергетики до медицины. Одним из наиболее важных направлений радиационных технологий является обработка пищевой и сельскохозяйственной продукции ионизирующим излучением. Это позволяет увеличить сроки хранения продуктов питания (Naque A. *et al*, 2017), снизить микробиологическую обсемененность мясной и рыбной продукции (Avari S. *et al*, 2016), провести дезинсекцию сухофруктов, орехов, круп (Лой Н.Н. и др., 2016 г.) и др.

Согласно рекомендациям МАГАТЭ одним из наиболее эффективных методов идентификации и оценки поглощенной дозы облученной продукции является метод электронного парамагнитного резонанса (метод ЭПР).

В основе метода лежит регистрация спиновых переходов неспаренных электронов на внешней орбитали молекул исследуемого объекта под воздействием электромагнитного поля. При переходе электрона с более низкого энергетического уровня на более высокий наблюдается резонансное поглощение, которое отображается на ЭПР-спектре в виде характерного пика (или набора пиков).

По амплитуде, ширине и площади данного пика можно провести оценку поглощенной продуктом дозы, а также идентифицировать облученную продукцию.

В работе Самохваловой Е.В. и др. (2019 г.) выявлена прямая зависимость амплитуды сигнала и обратная зависимость ширины пика от поглощенной дозы на примере охлажденной радужной форели, облученной дозами 3-12 кГр. Аналогичные эффекты наблюдались и в других видах продукции (специях (Тимакова Р.Т. и др., 2016 г.), свежих фруктах (Yordanov N.D. *et al* 2017) и сухофруктах (Mladenova R.B. *et al*, 2019)).

При рассмотрении статей по анализу облученной мясной и рыбной продукции (Самохвалова Е.В. и др., 2019 г.), а также мякоти и косточек фруктов и сухофруктов (Yordanov N.D. *et al* 2017; Mladenova R.B. *et al*, 2019) выяснилось, что идентификацию лучевой обработки методом ЭПР эффективнее проводить на образцах тканей с большим содержанием целлюлозы (т.е. костных тканях при анализе мясной продукции; семенах и косточках при анализе фруктов и сухофруктов).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЭРОЗОЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А.Г. Цовьянов, С.М. Шинкарев, И.П. Коренков, Н.К. Шандала, А.С. Самойлов

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
atsovyan@mail.ru

Цель данного исследования - определение физико-химических свойств радиоактивных аэрозолей для разработки мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала, участвующего в производстве смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива для ядерных реакторов нового поколения.

Материалы и методы. Для оценки физико-химические свойства радиоактивных аэрозолей использован сложный исследовательский комплекс. Для исследования дисперсности радиоактивных аэрозолей применялись различные многокаскадные импакторы собственной разработки (АИП-2, патент RU 2239815 и ФРТЧ патент RU 2509375), зарубежные импакторы (конструкции Андерсена (Copley Scientific, Великобритания), SKC Sioutas (SKC Inc, США)), пакеты фильтров. Отобранные пробы подвергались радиохимической пробоподготовке для исследования нуклидного состава на радиометрах УМФ-2000, полупроводниковом гамма-спектрометре InSpector-2000 с широкополосным детектором Canberra BE3830 и альфа-спектрометре Alpha Duo (ORTEC). Элементный и морфологический состав исследовались на масс-спектрометре вторичных ионов IMS-1280 (Cameca, Франция) и растровом электронном микроскопе Lyra 3 (Tescan, Чехия), оснащенном рентгеновским микроанализатором X-max 80 (OXFORD Instruments, Великобритания). Динамики счетной концентрации аэрозолей исследовалась шестиканальными оптическими счетчиками Handheld 3016. Обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами.

Результаты. Альфа-активность аэрозольных проб определяется преимущественно содержанием ^{239}Pu (свыше 80%). Во всех пробах преобладают медленно-растворимые соединения (76-86 %). Во многих пробах выявлено преобладание аэрозоля с активностным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД), составляющим десятки мкм. Вместе с тем, в отдельных пробах обнаружено бимодальное распределение, в котором наряду с крупнодисперсной фракцией найдена и субмикронная фракция с АМАД около 400 нм. Исследования морфологических и структурных характеристик проб показали, что аэрозоли являются конгломератами с размерами от 0,5 до 5 мкм с содержанием включений с размерами (порядка 200-400 нм) или содержащих отдельные частицы оксида урана и плутония с размерами (20-200) нм. Сложный морфологический и дисперсный состав 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 от принятых в дозиметрических моделях МКРЗ для U и Pu.

Выводы. Продолжение исследований физико-химических, радиологических свойств СНУП аэрозолей представляется крайне актуальной задачей в цепи мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала нового производственного цикла.

**РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ
РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И СУДОРЕМОНТНЫХ ЗАВОДОВ
НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

*Н. К. Шандала, Д. В. Исаев, А. В. Титов, В. А. Серегин, В. В. Шлыгин,
Ю. С. Бельских, В. Г. Старинский, Р. А. Старинская*

ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА
России, Москва, Россия
strategik@bk.ru

В настоящее время в России подходит к завершению федеральная целевая программа (ФЦП) «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011-2015 годы и на период до 2020 года». Одной из задач данной ФЦП является обеспечение медико-санитарной и экологической безопасности при проведении работ по утилизации вооружения и военной техники. На территориях нескольких предприятий проводится международный проект по комплексной утилизации плавучей технической базы «Лепсе», заканчивается утилизация нескольких атомных подводных лодок и начаты работы по утилизации выведенных из эксплуатации атомных ледоколов. Объектом исследования являлась радиационная обстановка в районах расположения судоремонтного завода «Нерпа» филиала АО «Центр Судоремонта «Звездочка» (СРЗ «Нерпа»), отделения Сайда-Губа СЗЦ «СевРАО» филиала ФГУП «РосРАО» и ФГУП «АтомФлот» дочернего предприятия ГК «РосАТОМ».

Цель исследования. Изучить радиационно-гигиеническую обстановку в районах расположения (зонах наблюдения) судоремонтных предприятий и радиационно опасных объектов, на территории которых проводятся различные этапы утилизации или обслуживания надводных и подводных судов с ядерной энергетической установкой и оценить возможное воздействие проводимых работ на окружающую среду и население.

Материалы и методы. Проводилась пешеходная гамма-съемка территории с использованием портативных гамма-спектрометрических комплексов, применялись гамма-спектрометрические и радиохимические методы анализа проб окружающей среды для определения удельной активности техногенных радионуклидов.

Результаты. Исследования проводились с 2013 по 2019 гг. Мощность AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД ГИ) на территориях зон наблюдения (ЗН) предприятий не превышает 0,34 мкЗв/ч, а на территориях близлежащих населенных пунктов находится на уровне региональных значений и составляет не более 0,27 мкЗв/ч. Удельная активность радионуклидов в почве обследуемых территорий не превышает 23 Бк/кг ^{90}Sr и 100 Бк/кг ^{137}Cs . Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в растительности (мхи) на территории исследуемых предприятий составляет не более 70 и 48 Бк/кг, соответственно, что достоверно выше уровней фонового (контрольного) района (1 и 20 Бк/кг, соответственно, для ^{90}Sr и ^{137}Cs). Удельная активность морской воды Баренцева моря достигала по содержанию ^{90}Sr 60 мБк/л, по ^{137}Cs - 4 мБк/л. Результаты измерений ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах местных дикорастущих продуктов, в частности, грибов, не превышали значений 100 Бк/кг, что существенно ниже нормируемого уровня.

Выводы. Достоверного влияния проводимых работ по утилизации атомных подводных лодок, кораблей технического обслуживания и кораблей с ядерной энергетической установкой на радиационную обстановку в районах расположения судоремонтных предприятий и население не выявлено. На территории ЗН одного из предприятий обнаружен локальный участок с удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs в почве, превышающей фоновые уровни и граничащей с уровнем допустимой удельной активности для неограниченного использования твердых материалов (^{137}Cs - 100 Бк/кг).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ В СТРАНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

*Н.К. Шандала, В.А. Серегин, Ю.В. Гущина, А.А. Филонова, Р.А. Старинская,
Ю.С. Бельских, И.А. Терехова*

ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
yuliyagushina@yandex.ru

В настоящее время объекты уранового наследия в странах Центральной Азии представляют опасность для здоровья населения и окружающей среды. Накопление значительного количества радиоактивных отходов, размещённых на поверхности земли в отвалах и хвостохранилищах, явилось следствием деятельности горнодобывающих и перерабатывающих предприятий урановой промышленности 40-50-х годов.

Межгосударственной целевой программой «Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» предусмотрена рекультивация двух объектов уранового наследия в Кыргызстане (пос. Каджи-Сай и пос. Мин-Куш) и одного в Республике Таджикистан (г. Истиклол). ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России ежегодно принимает участие в сопровождении работ по рекультивации загрязнённых территорий.

Цель данного исследования: оценка динамики изменения радиационной обстановки вблизи районов расположения объектов уранового наследия в период проведения работ по рекультивации.

Материалы и методы. В ходе проведения радиационно-гигиенического мониторинга для оценки уровня внешнего облучения населения была проведена пешеходная гамма-съёмка территорий бывших производственных объектов, хвостохранилищ и их окрестностей, а также прилегающих населённых пунктов. Для оценки внутреннего облучения за счёт поступления радионуклидов с питьевой водой и продуктами питания и ингаляционного поступления дочерних продуктов распада радона проводился радиохимический анализ контрольных проб и определение уровня гамма-фона в общественных и жилых зданиях соответственно.

Результаты. В населённых пунктах Киргизской Республики, вблизи расположения рекультивируемых объектов уранового наследия, эффективная доза облучения населения за счёт природных источников составляет 5,93 мЗв/год, что в 1,38 раз превышает показатель фоновой территории. В г. Истиклол Республики Таджикистан уровень облучения населения за счёт природных компонентов превышает значение фоновой территории в 3,86 раз и составляет 12,61 мЗв/год. Основным компонентом, определяющим наибольший вклад в дозу облучения населения, является радон и продукты его распада за счёт ингаляционного поступления.

Выводы. В период активных работ по рекультивации выполнены исследования радиационной обстановки территорий, расположенных вблизи пос. Мин-Куш и пос. Каджи-Сай Кыргызской Республики. По результатам анализа проведённых исследований и оценке годовых эффективных доз облучения населения были разработаны рекомендации по улучшению здоровья населения в процессе реализации работ по рекультивации, направленные как на снижение доз облучения населения и совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга, так и на проведение мероприятий по ранней диагностике злокачественных новообразований, а также программа долгосрочного мониторинга на период проведения рекультивационных работ.

ТИПОВЫЕ ПРИЧИНЫ РАДИАЦИОННЫХ ИНЦИДЕНТОВ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

И.Г. Шацкий

НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

I.Shatskiy@niirg.ru

По опубликованным данным в мире за последние 10 лет аварийное облучение в медицине составляет более 60%, а в лучевой терапии более 30%, от всех зарегистрированных случаев. В России с 2008 г. данных о случаях аварийного облучения в медицине не зафиксировано. Чрезвычайно актуальным вопросом является разработка и внедрение в России системы регистрации и предотвращения аварийного медицинского облучения, что требует разработки классификации причин аварийного облучения в медицине и, в частности, в лучевой терапии.

Целью данного исследования является изучение современных подходов к идентификации причин аварийного медицинского облучения.

Материалы и методы. Работа основана на анализе отчетов и публикаций международных и национальных организаций радиологов, медицинских физиков, регуляторов и производителей оборудования.

Результаты. Применительно к ситуациям медицинского облучения вместо термина «авария» целесообразно использовать термин «инцидент». Определение инцидента в Основных нормах безопасности МАГАТЭ совпадает с аварией, но также включает «исходные события, события-предшественники аварии, события, близкие к аварийной ситуации, или несанкционированные действия злоумышленного или неумышленного характера».

Основные причины инцидентов целесообразно разделить на три группы:

1. Ошибки, связанные с человеческим фактором (отсутствие надлежащего обучения персонала; недостаточная компетентность персонала; игнорирование предупреждений о развитии нештатной ситуации; недостаточный штат специалистов);

2. Системные ошибки (неполная или ненадлежащая система радиационной безопасности на объекте; неисполнение руководств по радиационной безопасности; отсутствие надлежащих инструкций; неспособность проанализировать возможные риски перед установкой нового оборудования);

3. Ошибки, связанные с оборудованием (неполная реализация программ обеспечения качества; отсутствие независимых проверок; неправильный ввод в эксплуатацию нового оборудования или программного обеспечения; неподходящее или небезопасное для эксплуатации на объекте оборудование).

При этом подавляющее большинство инцидентов было связано с человеческим фактором; на втором месте находятся ошибки, связанные с оборудованием; число инцидентов в связи с системными ошибками минимально.

Процедуры расследования и предотвращения инцидентов должны включать: оценку риска перед установкой нового оборудования, регулярные проверки уровня компетентности персонала, регулярное обучение персонала, соблюдение стандартов безопасности, руководств, протоколов и письменных инструкций, разработку и внедрение процедур обеспечения качества, изучение предыдущих инцидентов и улучшение системы отчетности об инцидентах.

Выводы. Установленные в результате анализа причины радиационных инцидентов будут использованы при разработке рекомендаций по формированию системы профилактики и предотвращения аварийного облучения в медицине и, в частности, в лучевой терапии.

СЕКЦИЯ № 14
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ В ЧЕЛЯБИНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

А.В.Аклеев^{1,2}, Г.А.Тряпицына^{2,1}, Е.И.Пастухова²

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

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия
akleyev@urcrm.ru

Важными проблемами современности являются загрязнение биосферы и связанное с этим возрастание радиационной нагрузки на среду обитания и людей, применение радиации в медицине, науке и промышленной деятельности человека. В связи с этим актуальным является подготовка специалистов в области радиобиологии.

Целью кафедры радиационной биологии Челябинского государственного университета является профессиональная подготовка студентов в области радиобиологии.

Материалы и методы. Кафедра радиационной биологии биологического факультета ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет» была создана на базе ФГБУН Уральский научно-практический центр радиационной медицины (УНПЦ РМ) ФМБА России 10.03.1998 года (Приказ Госкомитета Российской Федерации по высшему образованию за № 649). В настоящее время на кафедре ведется обучение студентов по направлению подготовки бакалавриата 06.03.01 «Биология» (профиль подготовки «Биофизика» и «Генетика») и направлению магистратуры 06.04.01 «Биология» (магистерские программы «Радиационная биология» и «Генетика»). С 1999 г. на базе кафедры работает аспирантура 03.01.01 «Радиобиология».

Результаты. Учебный процесс на кафедре радиобиологии проходит в экспериментальном корпусе УНПЦ РМ. В настоящее время на кафедре ведется преподавание 33 учебных дисциплин бакалавриата и 23 дисциплины магистратуры сотрудниками профессорско-преподавательского состава: 2 доктора наук, 7 кандидатов наук, 1 старший преподаватель и 2 ассистента. В процессе обучения студенты получают широкие знания в области радиобиологии, биофизики, радиационной генетики, эпидемиологии, радиоэкологии и дозиметрии. Научная деятельность кафедры направлена на анализ отдаленных эффектов хронического аварийного облучения населения. Исследования механизмов действия радиации на биологические системы различного уровня организации (от клеточного до биоценотического) проводятся в лабораторных условиях с использованием культур клеток, гидробионтов, лабораторных животных и в натурных исследованиях (радиоактивно-загрязненные экосистемы). Студенты, аспиранты и сотрудники кафедры участвуют в иммунологических, молекулярно-биологических, цитогенетических, популяционно-генетических исследованиях, в проведении экологического мониторинга с использованием современных методов и оборудования.

Выводы. В ЧелГУ организована эффективная система высшего профессионального образования в области радиобиологии на основе интеграции в учебный процесс интеллектуальных, организационных, инфраструктурных, методических и практических возможностей ФГБУН УНПЦ РМ ФМБА России. За годы работы кафедра выпустила более 300 специалистов. Выпускники работают в ведущих научно-исследовательских учреждениях России и за рубежом, в лабораториях медицинских учреждений, МВД, Роспотребнадзора, Росгидромета, промышленных предприятий, преподавателями в высших учебных заведениях, колледжах и школах.

ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЕ

Т.Б. Балтрукова

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова,
Санкт-Петербург, Россия
xray_btb@mail.ru

Реалии современного мира диктуют более интенсивное внедрение дистанционного обучения, в том числе и при подготовке специалистов в области радиационной гигиены, радиобиологии и радиоэкологии. Однако этот вид обучения имеет ряд существенных недостатков, которые невозможно преодолеть без надлежащей организации образовательного процесса и комбинировании его с другими видами обучения.

Цель исследования. Дать сравнительную оценку уровней сформированности компетенций по радиационной гигиене у слушателей дополнительного профессионального образования при применении дистанционного и традиционного методов обучения.

Материалы и методы. Уровень сформированности компетенций оценивался по результатам выполнения тестовых и практических заданий, решения ситуационных задач слушателями, обучающимися дистанционно и очно по одинаковым программам и максимально идентичным учебным материалам. Также изучалась степень удовлетворенности слушателей дистанционным методом обучения.

Результаты. При формировании групп дистанционного обучения слушателей мы столкнулись с рядом проблем технического (отсутствие у ряда слушателей персональных компьютеров и доступа в систему Интернет, совместимости компьютерных программ) и личностного характера (отсутствие у части слушателей достаточных навыков работы в удаленном образовательном пространстве, индивидуально-психологические особенности некоторых), что препятствовало дистанционному обучению отдельных слушателей. При сравнительной оценке степени сформированности компетенций было выявлено, что процент правильно выполненных тестовых заданий в обеих группах был примерно одинаковый ($86,4 \pm 3,6 \%$ и $82,5 \pm 6,2 \%$ соответственно). Правильность решения задач и выполнения практических заданий зависела не только от вида обучения, но и от стажа работы по профессии. Среди стажированных слушателей процент решения задач и выполнения практических заданий был выше, но при освоении новых умений и навыков процент ошибок был выше у слушателей обучающихся дистанционно вне зависимости от стажа ($25,7 \pm 2,8 \%$ против $13,5 \pm 1,8 \%$ и $28,6 \pm 4,1 \%$ против $11,7 \pm 0,9 \%$ соответственно, $P < 0,05$). Опрос слушателей показал, что при дистанционном обучении им не хватало «живого» общения с преподавателем, когда можно что-то уточнить, обсудить, получить ответы на некоторые вопросы, которые лежат вне рамок занятий, но важны для понимания слушателем основного образовательного материала. Также при дистанционном обучении существуют проблемы обратной связи для текущего контроля знаний и аутентификации слушателей при текущем и итоговом контроле.

Выводы. На существующем этапе дистанционное обучение не является полностью альтернативным методом классическому обучению. Оно в целом дает худшие результаты обучения и может быть рекомендовано для слушателей с большим стажем практической работы. Также может быть использован смешанный вид обучения – часть курса обучения проходит дистанционно, а вторая часть очно.

**ПРЕПОДАВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИИ СТУДЕНТАМ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕДИЦИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ И.И. МЕЧНИКОВА**

А. С. Богачева, Е. В. Полозова

Северо-Западный государственный медицинский университет
имени И.И. Мечникова Министерства здравоохранения РФ, Санкт-Петербург, Россия
baltagy@list.ru

Одной из актуальных задач современного медицинского образования является формирование профессиональных компетенций врача в области радиобиологии. В связи с этим, в Северо-Западном государственном медицинском университете имени И.И. Мечникова радиобиология изучается на трёх факультетах: лечебном, медико-профилактическом и стоматологическом. Для студентов стоматологического и лечебного факультетов цикл радиобиологии является разделом учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и преподаётся на 3-ем курсе в 5 семестре. На медико-профилактическом факультете «Радиобиология» выделена в отдельную, самостоятельную учебную дисциплину, которая реализуется на 4-ом курсе. В учебных программах учитывается специфика каждого направления, как итог – осуществляется дифференцированный подход к обучению студентов разных факультетов.

Одна из основных компетенций, которая формируется у врачей лечебного и стоматологического профиля – это готовность и способность к участию в оказании медицинской помощи при чрезвычайных ситуациях радиационного характера. На медико-профилактическом факультете главной задачей преподавания радиобиологии является: сформировать способность к анализу санитарно-эпидемиологических последствий и принятию профессиональных решений по организации санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий и защите населения в радиационных очагах, возникших при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Объединяет все эти программы одна общая цель, которая заключается в формировании у будущих врачей устойчивой системы представлений о современной радиобиологии как фундаментальной комплексной научной дисциплине, изучающей действие ионизирующих излучений на организм человека.

Освоение учебного материала идет в ходе лекций, семинаров и практических занятий. На лекциях рассматриваются характеристики ионизирующих излучений, основы действия радиации, дозиметрические величины, классификация и механизмы действия радиопротекторов. На практических занятиях изучаются естественные и искусственные источники радиации, нормы радиационной безопасности, способы защиты от ионизирующего излучения. Механизмы действия радиации на различных уровнях организации биологических систем, основные радиационные синдромы, радиационные эффекты и последствия облучения обсуждаются на семинарах. В рамках практических и семинарских занятий студенты знакомятся не только с теоретическим материалом, но и решают ряд практических и ситуационных задач, смотрят учебные фильмы, по наиболее актуальным темам готовят доклады и презентации. Тестовый контроль знаний осуществляется в электронной образовательной системе Moodle, где студенты также могут найти материал для подготовки к занятиям. Завершающим этапом обучения является экзамен, который включает в себя тестирование, сдачу практических навыков, ситуационную задачу и теоретические вопросы.

Главной целью преподавания радиобиологии профессорско-преподавательский состав считает формирование готовности и способности будущего врача использовать в профессиональной деятельности радиобиологические знания, умения и навыки для обеспечения радиационной безопасности пациентов и медицинских специалистов.

ВОСПРИЯТИЕ АВАРИИ НА АЭС «ФУКУСИМА-1» НАСЕЛЕНИЕМ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Библин А.М., Давыдов А.А.

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены
имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
a.biblin@niirg.ru

Сильнейшее землетрясение у восточного побережья острова Хонсю в Японии произошедшее в 2011 году и вызванное им цунами стали причиной гибели 20 тысяч человек. Авария на АЭС «Фукусима-1», ставшая следствием этого землетрясения и цунами, является одной из крупнейших радиационных аварий в истории, относящейся к 7-му уровню по Международной шкале ядерных событий. Авария попала в повестку СМИ и социальных сетей и на несколько недель стала главной темой в информационном поле, повлияв на как на общее состояние радиотревожности в обществе, так и на отношение населения к развитию атомной энергетики.

Цель исследования – оценка последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» населением Дальнего Востока Российской Федерации спустя 9 лет после аварии.

Материалы и методы. Исследование проводилось в январе-феврале 2020 года в виде интернет опроса. В ходе исследования было опрошено 404 респондента с помощью сервиса Google Forms (60 респондентов) и Anketolog.ru (344 респондента), в выборке представлены 38% мужчин и 62% женщин. Приморский край представляют 40% респондентов, Хабаровский край – 31%, Амурская область – 12%, Сахалинская область – 8%, Камчатский край – 5%, Магаданская область – 3%, Еврейская АО – 2%.

Результаты. Подавляющее большинство (84%) респондентов следило за ситуацией, происходящей в Японии в 2011 году, при этом 37% заявили, что пристально следили за ситуацией. У 40% ответивших авария вызвала опасения по поводу радиационной безопасности. 63% ответивших считает, что в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» погибли сотни и более человек. При этом около 31% считает, что авария на АЭС Фукусима-1 повлияла на заболеваемость в злокачественными новообразованиями в регионе проживания.

Выводы. У населения сформировалось представление об аварии на Фукусиме как о глобальной катастрофе, которая привела к большому количеству человеческих жертв от радиационного воздействия. Также, по мнению респондентов, авария повлияла на онкологическую заболеваемость в регионах их проживания. Данные исследования свидетельствуют о необходимости разработки методических рекомендаций и подходов к организации информационной работы с целью формирования у населения научно-обоснованных представлений о последствиях будущих и прошлых аварий и снижения радиотревожности.

ВОПРОСЫ РАДИОБИОЛОГИИ И МЕДИЦИНСКОЙ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Т.Н. Власенко, О.З. Мустаев, М.Р. Булатов, А.А. Сущенко, В.В. Колбасов
Филиал Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, Москва, Россия
vlasenko_t_n@mail.ru

Основной целью проведения профессиональной переподготовки и усовершенствования специалистов фармацевтического профиля в филиале Военно-медицинской академии им. С.М.Кирова (Москва) Министерства обороны Российской Федерации является всесторонняя и полная подготовка специалистов по обеспечению войск (сил) медицинским имуществом, которое является важнейшим элементом системы медицинского обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. От своевременной реализации мероприятий по обеспечению войск (сил) медицинским имуществом зависит качество работы медицинских учреждений, а следовательно - жизнь и здоровье личного состава.

Особую актуальность эти мероприятия приобретают при чрезвычайных ситуациях радиационной природы, вероятность которых в современных условиях достаточно высока. Радиационные аварии и инциденты могут явиться следствием военных действий с применением ядерного оружия, диверсионных или террористических актов, а также аварий на радиационно-опасных объектах. В этих ситуациях важным компонентом медицинского обеспечения является создание запасов медицинских средств противорадиационной защиты - радиопротекторов, средств ранней (экстренной) терапии лучевых поражений, антидотов радионуклидов и симптоматических средств. Для правильной организации медицинского снабжения необходимо обладать современными знаниями в области радиационной фармакологии и радиационной безопасности личного состава в мирное и военное время.

В процессе переподготовки и усовершенствования важно, чтобы специалисты фармацевтического профиля были ознакомлены как с вопросами радиобиологии, так и с особенностями хранения и применения медицинских средств противорадиационной защиты. К сожалению, отдельного учебного курса (цикла) радиобиологии и противорадиационной защиты в учебных программах профессиональной переподготовки и усовершенствования специалистов фармацевтического профиля нет. Однако, учитывая важность этих вопросов, они в обязательном порядке изучаются в ходе знакомства слушателей с современным комплектно-табельным оснащением медицинской службы Вооруженных Сил Российской Федерации - аптечками первой помощи, сумкой первой помощи, сумкой фельдшера войсковой и сумкой врача восковой, комплектами медицинского имущества для оснащения мобильных медицинских учреждений (подразделений). В процессе обучения слушателям циклов переподготовки и усовершенствования рекомендуется изучить требования руководящих документов Министерства обороны Российской Федерации, методических рекомендаций по комплектно-табельному оснащению, соответствующие главы учебника «Токсикология и медицинская защита» (2016) и учебного пособия «Медицинские и технические средства защиты» (2019).

Знания по радиобиологии и противорадиационной защите, полученные на кафедре (организации и тактики медицинской службы) филиала Военно-медицинской академии им. С.М.Кирова (Москва), имеют важное практическое значение для профессиональной деятельности специалистов фармацевтического профиля.

РАДИОБИОЛОГИЯ И РАДИОЭКОЛОГИЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА В ПРИМОРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

В. В. Воробьева

Приморская государственная сельскохозяйственная академия, г. Уссурийск, Россия

vv-vorobjova@yandex.ru

Важнейшим инструментом устойчивого развития общества является образование. Цели устойчивого развития (ЦУР) официально известные, как «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» предусматривают применение мер, направленных на оптимальное использование ограниченных ресурсов и использование экологических природо-, энерго- и материалосберегающих технологий, на сохранение стабильности социальных и культурных систем, на обеспечение целостности биологических и физических природных систем. Актуально развитие ядерной техносферы и формирование общественного сознания применительно к ней. Следует увеличить роль общественности, как в оценке предлагаемого риска, так и в окончательном решении при любом вероятном влиянии радиации.

В ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия» преподавание дисциплин «Сельскохозяйственная радиобиология» и «Ветеринарная радиобиология» автор начинала в 1989 г. на зооветеринарном факультете ПСХИ. Сейчас они ведутся в институте животноводства и ветеринарной медицины ПГСХА при реализации образовательных программ 36.03.02 «Зоотехния» и 36.05.01 «Ветеринария», а также в институте землеустройства и агротехнологий для направления подготовки 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение» – «Сельскохозяйственная радиобиология».

При изучении дисциплины «Экология» по всем направлениям подготовки всегда даются основы радиэкологии. В помощь было авторское учебное пособие «Введение в радиэкологию», опубликованное в Москве в издательстве «Логос».

Разработаны учебные программы, тематика лекций и практических занятий, задания для самостоятельной подготовки, задания и методические указания для выполнения контрольных работ для студентов заочной формы обучения. Обучающиеся изучают десять тем: Вводная часть, Физические основы радиобиологии, Радиометрия и дозиметрия ионизирующих излучений, Основы радиэкологии, Токсикология радионуклидов, Биологическое действие ионизирующих излучений, Лучевые поражения сельскохозяйственных животных, Организация ведения животноводства в условиях радиоактивного загрязнения, Радиационная экспертиза, Атомная радиация в сельскохозяйственном производстве. Это лекционный материал и практические занятия. Подготовлено учебное пособие для практических занятий. По каждой теме разработаны тесты. Студентам предлагаются темы рефератов и итоговый зачетный тест. В Приморской государственной сельскохозяйственной академии внедрена электронная информационно-образовательная среда. Читальный зал библиотеки и многие аудитории оборудованы современными компьютерами с выходом в Интернет. С мая 2020 г. при реализации образовательных программ применяется электронное обучение с дистанционными обучающими технологиями. Общение с обучающимися осуществляется в «форуме». Обучающиеся активно работают. Библиотечный фонд ПГСХА позволяет успешно реализовывать образовательные программы сельскохозяйственных направлений подготовки, в том числе проводить радиобиологическое и радиэкологическое обучение студентов. Тем не менее, совершенствование подготовки обучающихся остается актуальной задачей; нуждается в обновлении лабораторное оборудование.

АНАЛИЗ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ В РОССИЙСКОМ ИНДЕКСЕ НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ И SCOPUS ПО МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

В.И. Евдокимов

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) изменила жизнедеятельность многих тысяч ликвидаторов и населения, проживавшего на радиационно-загрязненных территориях, и стала актуальной для многих народов мира.

Цель – провести анализ научных журнальных статей, проиндексированных в мировой реферативно-библиографической базе данных Scopus и Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) по медико-биологическим проблемам ликвидации аварии на ЧАЭС в 2005–2018 гг.

Материал и методы. Объект исследования составили электронные информационные ресурсы Scopus и РИНЦ. Поисковый режим включал: поисковые слова (Chernobyl, Чернобыль или ЧАЭС); тип изданий (экспериментальные статьи и обзоры); искать (в названии статьи, реферате, ключевых словах); отрасль науки (медицина); период времени (2005–2018 гг.). Поиск позволил создать 1457 откликов на статьи в мире в Scopus и 1209 – на отечественные статьи в РИНЦ.

Результаты. Отмечается высокая годовая вариабельность количества статей в базе данных Scopus и РИНЦ с возрастанием публикационной активности в печальные юбилейные даты аварии на ЧАЭС (10-летие, 20-летие и т.д.) При очень низких коэффициентах детерминации ($R^2 = 0,16$ и $R^2 = 0,10$ соответственно) полиномиальный тренд мировых статей в Scopus напоминает инвертированную U-кривую, в РИНЦ – пологую U-кривую с тенденциями уменьшения данных в последний период наблюдения. Среднегодовой массив мировых публикаций в Scopus был (104 ± 5), открытый доступ имели 20,7 % публикаций, экспериментальных журнальных статей было 85,8 %, обзоров – 14,2 %. На английском языке издано 68,4 % статей, на русском – 22,6 %, украинском – 9,0 %. французском – 1,8 %, немецком – 1,0 %. Наибольшее количество статей опубликовали авторы из США (298), Украины (288) и России (173). Отмечается высокий уровень международного сотрудничества и международных авторских коллективов. В среднем каждая статья была процитирована 10,1 раз, были процитированы хотя бы 1 раз – 97,2 % статей, самоцитирования составили 28 %, индекс Хирша – 54. Среднегодовой массив публикаций в РИНЦ был (86 ± 8). Статей, индексированных в журналах Web of Science или Scopus, было 36,4 %, в журналах, входящих в ядро РИНЦ, – 56,1 %. Средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были опубликованы статьи, оказалось 0,482, среднее число цитирований в расчете на 1 статью – 2,6, были процитированы хотя бы 1 раз – 57,6 % статей. Самоцитирования составили 22,9 %, индекс Хирша – 20. Зарегистрированные читатели в Научной электронной библиотеке могут изучать полные тексты более 60 % статей найденного массива. Вопросы радиобиологии раскрывали 11,7 % статей в Scopus и 22,3 статей в РИНЦ, радиоэкологии – 20,8 и 23,6 % соответственно, биохимии, генетики и молекулярной биологии – 16,5 и 28,6 %, медико-биологических проблем у ликвидаторов аварии – 16,5 и 43,0 %, у населения, проживающего на радиационно-зараженных территориях, – 25,1 и 21,3 % – новообразований – 28,5 и 12,1 % соответственно.

Вывод. Отмечается высокая востребованность статей по медико-биологическим проблемам ликвидации последствий аварии на ЧАЭС у мирового научного сообщества. Помимо улучшения инновационного содержания отечественных статей, у российских ученых следует формировать привычку чаще цитировать статьи коллег.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ В МЕДИЦИНСКОМ ВУЗЕ РАДИОБИОЛОГИИ И ВОПРОСОВ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ УХУДШЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

И. А. Жмакин, К. Б. Баканов

Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Россия

konbak@mail.ru

Бурное развитие радиобиология связано с широким использованием ее достижений в самых разных отраслях науки и практики. Особое значение радиационная биология имеет для медицины, так как использование источников излучений стало неотъемлемой частью многих диагностических исследований и методов лечения. Поэтому медицинские работники должны хорошо знать теоретические основы радиобиологии, иметь сформированные компетенции в области медицинской радиологии и радиационной безопасности.

Целью данного исследования стало изучение путей повышения эффективности преподавания в медицинском вузе радиобиологии, а также вопросов организации защиты населения при ухудшении радиационной обстановки.

Материалы и методы. В ходе обзорно-аналитического исследования изучены требования нормативных документов к выпускникам медицинских вузов, регламентирующих выполнение ими профессиональных задач в процессе осуществления всех видов медицинской деятельности с учетом требований профессиональных стандартов в области медицинской радиологии.

Результаты. В соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования выпускник медицинского вуза должен обладать определенными профессиональными компетенциями в области медицинской деятельности. В частности, готовностью к организации защиты населения при ухудшении радиационной обстановки, способностью к проведению всего комплекса лечебно-диагностических мероприятий по нозологическим формам болезней, в том числе при лучевых поражениях. Задачу обучения студентов этим компетенциям реализуют кафедры, составляющими учебных программ которых являются различные образовательные компоненты радиобиологии, медицинской радиологии и радиационной безопасности. Темы занятий на этих кафедрах предусматривают изучение теоретических основ радиобиологии, этиологии и патогенеза различных видов лучевых поражений. В обязательном порядке изучаются мероприятия по оказанию первичной медико-санитарной помощи и первой помощи пострадавшим в районах радиоактивного загрязнения, их лечению и реабилитации. Изучаются вопросы профилактики радиационных поражений и противорадиационной защиты. Эффективность преподавания в медицинском вузе радиобиологии и вопросов организации защиты населения при ухудшении радиационной обстановки зависит от комплексирования, тесного взаимодействия всех профильных кафедр при формировании учебных программ, выборе форм и методов проведения занятий, определении последовательности преподавания тем и содержания заданий для промежуточной аттестации студентов. В учебном процессе важно использовать современные видео технологии (фильмы, презентации и др.), наглядно демонстрирующих особенности клинической картины радиационных поражений.

Заключение. Повышение эффективности преподавания в медицинском вузе радиобиологии и вопросов организации защиты населения при ухудшении радиационной обстановки зависит от тесного взаимодействия всех профильных кафедр на которых изучаются теоретические основы радиобиологии, медицинская радиология и радиационная безопасность.

АСПЕКТЫ РАДИОБИОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА ПРИ СЕЧЕНОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Л.А. Кушнир

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

kushnirla@list.ru

Источники ионизирующих излучений являются опасным фактором возникновения чрезвычайных ситуаций радиационного характера с формированием различных клинических форм лучевых поражений людей. В связи с этим важными компетенциями офицера медицинской службы являются способность и готовность организовать медицинскую защиту личного состава воинской части, подразделений медицинской службы от воздействия поражающих факторов ядерного оружия, диагностировать патологические состояния, возникающие в результате профессиональной деятельности военнослужащих, оказывать медицинскую помощь с использованием табельных средств медицинской и индивидуальной защиты.

На кафедре профилактики и медицинской защиты военного учебного центра при Первом Московском государственном медицинском университете им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) преподавание радиобиологии осуществляется в рамках дисциплины «Военная токсикология, радиология и медицинская защита» по программе военной подготовки будущих офицеров медицинской службы в 6 семестре в объеме 36 часов. В ходе подготовки студенты получают знания об ионизирующих излучениях как потенциальных этиологических факторах широкого спектра патологических состояний.

В результате изучения аспектов радиобиологии студенты должны иметь представление: о возможных последствиях радиационных аварий; о перспективах разработки новых поколений средств профилактики радиационных поражений, средств защиты, принципах ликвидации последствий экстремальных радиационных воздействий. Будущие офицеры медики должны знать: общие сведения о ядерном оружии, средствах его применения, радиационно-опасных объектах; характеристику лучевых поражений; принципы выявления и оценки радиационной обстановки; особенности организации медицинской помощи в радиационных очагах и на этапах медицинской эвакуации; характеристику и принципы защитного действия средств, предназначенных для профилактики и лечения пораженных радиоактивными веществами. Они должны уметь: проводить индикацию и обнаружение радиоактивных веществ в различных средах с использованием дозиметрических приборов и приборов радиационной разведки, санитарную обработку раненых и больных; организовывать оказание медицинской помощи при радиационных поражениях; пользоваться индивидуальными и коллективными средствами защиты; оценивать радиационную обстановку, организовывать защиту медицинского подразделения в условиях применения противником ядерного оружия, при разрушениях (авариях) на радиационно-опасных объектах. По итогам изучения дисциплины будущие офицеры медицинской службы должны владеть: навыками использования штатных технических средств радиационной разведки и контроля, индивидуальной и коллективной защиты, специальной обработки. Все эти вопросы освещаются в лекциях, подробно разбираются на семинарах, отрабатываются в ходе практических занятий.

Изучение радиобиологии является неотъемлемой частью военно-медицинского образования в подготовке будущих офицеров медицинской службы для осуществления мероприятий медицинской защиты личного состава войск и населения от поражающего действия факторов радиационной природы в мирное и военное время.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАДИОЭКОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

С.В.Мамихин

Факультет почвоведения Московского государственного университета
им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
svmamikhin@mail.ru

Имитационное моделирование в настоящее время является наиболее используемым в радиоэкологии типом математических моделей. Это обусловлено в первую очередь спецификой экосистем, как объектов исследования. Имитационное моделирование наиболее полно отвечает их особенностям по принципам построения и реализации моделей. Постоянный интерес вызывают прогностические возможности радиоэкологических имитационных моделей.

Именно этот метод активно применялся на кафедре радиоэкологии и экотоксикологии факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова в ходе работ по изучению радиоактивного загрязнения биосферы и формирования дополнительных дозовых нагрузок, в том числе и многолетних чернобыльских исследований. Был создан целый ряд программных продуктов: базы исходных данных, банк имитационных моделей, информационная система ЭКОРАД. Основное внимание уделялось моделированию вертикальной и латеральной миграции и динамики форм содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в почве, перераспределения указанных радионуклидов в системах типа «почва – древесные растения» с различным шагом по времени, отображению перемещения ^{137}Cs по пищевым цепям. Главным предметом исследования были лесные экосистемы, обладающие богатым видовым составом и многоярусной структурой, которые являются сложными объектами для радиоэкологического имитационного моделирования.

Опыт, накопленный в ходе научно-исследовательских работ с использованием имитационного моделирования, нашел непосредственное применение в учебном процессе. В рамках подготовки радиоэкологов современного уровня на протяжении нескольких лет на кафедре читаются спецкурсы, включающие в себя разделы по применению имитационного моделирования в радиоэкологических исследованиях. В качестве базовой учебной литературы используются как собственные работы, так и труды других специалистов в данной области. Помимо этого создан и регулярно обновляется радиоэкологический информационно-учебный ресурс «ЭКОРАДМОД» (<http://soil.msu.ru/kaf-radioecologia/ecoradmod>), который может использоваться для дистанционного обучения.

На странице ресурса «Введение в моделирование», адресованной учащимся и молодым ученым, которые только начинают применять метод математического моделирования, представлено введение в имитационное моделирование. Здесь кратко излагаются теоретические основы метода, рассматриваются способы реализации моделей, приведены примеры радиоэкологических моделей, предлагается ряд упражнений для освоения метода. На этой странице также описаны алгоритмы некоторых уже созданных и работающих радиоэкологических моделей, включен словарь терминов, используемых в экологической информатике. С целью наглядной иллюстрации применения метода обеспечен доступ к скачиванию в архивированном виде демонстрационных версий нескольких моделей, которые были созданы на кафедре радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ДОДИПЛОМНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ
МЕДИЦИНСКИХ ВУЗОВ ПО ВОПРОСАМ РАДИОБИОЛОГИИ ПРИ
ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕДИЦИНА КАТАСТРОФ»**

А.В. Старков, Е.В. Давыдова, Е.В. Полозова, А.В. Старовойт, А.Н. Гребенюк
Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени
академика И.П. Павлова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия
stark-4@mail.ru

Целью учебной дисциплины «Медицина катастроф» является обучение будущих врачей умению организовывать медицинское обеспечение населения в условиях массовых санитарных потерь при чрезвычайных ситуациях, в том числе при радиационных авариях и катастрофах. На кафедре мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф ПСПбГМУ им. И.П. Павлова изучение этой учебной дисциплины проводится на 5 курсе. Одним из важных разделов «Медицины катастроф» является медико-тактическая характеристика чрезвычайных ситуаций радиационной природы, на изучение этого раздела отведено 20 учебных часов.

Циклу практических занятий предшествует курс лекций, на котором излагаются основные теоретические положения радиобиологии, механизмы действия ионизирующих излучений, патогенез радиационных поражений при действии высоких доз облучения и их клинические проявления, новые научные достижения в области профилактики и оказания медицинской помощи пострадавшим при переоблучении.

На практических занятиях студенты закрепляют полученные знания по профилактике поражений, их диагностике, оказанию первой помощи, первичной врачебной медико-санитарной, скорой медицинской и специализированной медицинской помощи на этапах медицинской эвакуации. Для повышения качества оказания первичной врачебной медико-санитарной помощи со студентами разбираются клинические и ситуационные задачи по основным формам радиационных поражений. Особое внимание в ходе проведения практических занятий уделяется обучению студентов правилам использования медицинских и технических средств защиты, приборов радиационной разведки и дозиметрического контроля. Кроме того, развивается способность студентов самостоятельно принимать обоснованные решения по организации лечебно-эвакуационных мероприятий в очагах радиационного поражения путем решения ситуационных задач и выполнения практических работ по выявлению и оценке радиационной обстановки. При проведении занятий активно используются видеоматериалы, мультимедийные презентации и другие наглядные пособия. Для совершенствования практических навыков по медицине катастроф на кафедре внедряется учебная технология в виде тактико-специального учения.

Коллективом кафедры за последние два года подготовлено и издано 5 учебно-методических пособий для студентов по данному разделу дисциплины, в том числе «Радиобиология» (СПб: ПСПбГМУ, 2019) в двух частях, «Технические и медицинские средства защиты» (СПб: Фолиант, 2019). Важно отметить наличие на кафедре и использование в учебном процессе современных средств технической и медицинской защиты, приборов радиационной и химической разведки.

Таким образом, учебный процесс на кафедре мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф ПСПбГМУ им. И.П. Павлова позволяет проводить качественную подготовку студентов-медиков, способных грамотно решать вопросы по организации оказания медицинской помощи населению в ходе ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций радиационной природы.

**ВОПРОСЫ РАДИОБИОЛОГИИ И РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ
В ПОДГОТОВКЕ КЛИНИЧЕСКИХ ОРДИНАТОРОВ ПЕРВОГО
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕДИЦИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА И.П. ПАВЛОВА**

*А.В. Старков, Е.В. Давыдова, А.В. Старовойт, Е.В. Полозова,
В.В. Гедерим, К.Н. Гончаров*

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени
академика И.П. Павлова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия
stark-4@mail.ru

В Первом Санкт-Петербургском государственном медицинском университете имени академика И.П. Павлова (ПСПбГМУ) Министерства здравоохранения РФ подготовке клинических ординаторов по актуальным проблемам радиобиологии, радиационной медицины и радиационной безопасности уделяется пристальное внимание. Связано это с тем, что в ходе дальнейшей профессиональной деятельности врачи практически всех медицинских специальностей могут столкнуться с пациентами, в этиологии или патогенез заболеваний которых существенную роль играет действие ионизирующих излучений. Поэтому клинические ординаторы ПСПбГМУ в обязательном порядке изучают различные аспекты радиобиологии и радиационной медицины в ходе прохождения учебной дисциплины «Медицина чрезвычайных ситуаций». Изучение данной дисциплины происходит на кафедре мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф в объеме 72 учебных часа, из которых 12 часов на изучение вопросов радиобиологии и радиационной медицины.

Одной из важнейших задач этой учебной дисциплины является подготовка врачей к осуществлению мероприятий по оказанию медицинской помощи пострадавшим радиационного профиля на основе современных представлений об опасных факторах радиационной природы, биологических эффектах ионизирующих излучений, патогенезе и клинике лучевых поражений, профилактике и лечению патологии, связанной с экстремальным воздействием радиации, организации медицинского обеспечения населения при радиационных авариях и катастрофах. Отработка этих вопросов осуществляется в ходе лекций, семинаров и практических занятий. В ходе лекций клинические ординаторы углубляют знания по опасным факторам радиационной природы, механизму развития и основным проявлениям радиационных поражений. На семинарах изучаются принципы прогнозирования, выявления и оценки радиационной и обстановки, складывающейся в результате радиационных инцидентов, структура и динамика формирования санитарных потерь в очагах поражений; средства и методы защиты от действия факторов радиационной природы. На практических занятиях клинические ординаторы получают навыки проведения радиационной разведки и контроля в медицинских учреждениях и на путях медицинской эвакуации; организации экспертизы воды и продовольствия на зараженность радионуклидами, дезактивации медицинского имущества и санитарной обработки пострадавших, а также навыки организации мероприятий медицинской защиты персонала медицинских и аварийно-спасательных формирований в ходе ликвидации радиационных аварий.

Полученные в ходе изучения радиобиологии и радиационной медицины знания и навыки позволят врачам грамотно организовывать и проводить мероприятия медицинской защиты персонала медицинских учреждений и качественно оказывать все виды медицинской помощи пострадавшим в случае возникновения чрезвычайных ситуациях радиационной природы.

ПРЕПОДАВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

О. Ю. Стрелова, Е. Н. Степанова, А. Н. Гребенюк

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет
Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия
olga.strelova@pharminnotech.com

На протяжении последних десяти лет в соответствии с ФГОС 3, 3+ и 3++ фармацевтического образования в РФ в высших учебных заведениях преподается учебная дисциплина «Токсикология и медицинская защита» с разделом «Радиобиология». В соответствии с программой учебной дисциплины «Токсикология и медицинская защита» на освоение вопросов радиобиологии отведено 4 часа лекций и 8 часов практических занятий. Они посвящены изучению основных понятий радиобиологии, клинических форм радиационных поражений, технических средств защиты от воздействия радиации и, что наиболее важно для провизоров, – медицинских средств профилактики и лечения радиационных поражений.

К сожалению, вопросы воздействия ионизирующего излучения на биологические системы недостаточно рассматриваются в системе высшего фармацевтического образования. В связи с этим, сотрудниками кафедры фармацевтической химии (с курсом токсикологической химии и токсикологии) СПХФУ подготовлена учебная литература для студентов фармацевтических вузов: учебник «Безопасность жизнедеятельности. Медицина катастроф» в 2-х томах (под ред. И.А. Наркевича; М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019) с разделом «Токсикология и медицинская защита», куда вошли вопросы радиобиологии и противорадиационной защиты (авторы раздела О.Ю. Стрелова, А.Н. Гребенюк), а также учебное пособие «Основы радиобиологии и радиационной медицины» (А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, О.Ю. Стрелова, Е.Н. Степанова; СПб: Фолиант, 2015), которому присвоен гриф Учебно-методического объединения по медицинскому и фармацевтическому образованию вузов России. Пособие получило хорошие отзывы студентов и позволяет им разобраться в чрезвычайно сложных вопросах механизмов действия ионизирующего излучения, формах патологий, возникающих в организме под действием радиации, и арсенале фармакологических средств для лечения данных заболеваний. Более успешному освоению материала и самостоятельной работы помогает Рабочая тетрадь (2-х части), в том числе часть 2 «Радиобиология. Технические средства защиты». В проведении практических занятий большая роль отводится самостоятельной работе студентов: к занятию готовятся 2-3 доклада по теме занятия (например, «История открытия радиации», «Лучевая патология», «Медицинские средства защиты от ионизирующего излучения» и др.). Студенты решают ситуационные задачи, основанные на реальных событиях. Работа над задачами проводится в форме деловой игры, в группах по 2-3 человека. Для текущего контроля знаний разработан комплект тестовых заданий на каждое занятие. В соответствии с требованиями Рособнадзора по учебной дисциплине «Токсикология и медицинская защита» сформирована единая электронная образовательная среда в системе Moodle, где студенты могут найти весь необходимый материал для подготовки к занятиям и самостоятельной работы. В оценке знаний студентов используется балльно-рейтинговая система, которая позволяет успешно проводить дифференцированный зачет.

Проводимое в конце семестра анонимное анкетирование показало, что около 75% студентов положительно относятся к изучению вопросов радиобиологии и подчеркивали значимость этих вопросов в их профессиональной деятельности.

ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОБИОЛОГИИ В СИСТЕМЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А. А. Тимошевский¹, Л. А. Кушниц²

¹Научно-исследовательский институт организации здравоохранения
и медицинского менеджмента ДЗМ, Москва, Россия

²Первый московский государственный медицинский университет
им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия
tialexandr@yandex.ru

Радиационная опасность современного мира делает весьма актуальной подготовку студентов и ординаторов медицинских вузов в области радиобиологии. События на Чернобыльской АЭС, «Фукусима-1» показали, что полностью исключить крупномасштабные аварии не возможно. Интенсивное развитие ядерных технологий и всестороннее использование источников ионизирующего излучения создает угрозу загрязнения техносферы радионуклидами.

Радиобиология как одно из направлений подготовки студентов в рамках дисциплин «Безопасность жизнедеятельности» (БЖ) и «Медицина чрезвычайных ситуаций» (МЧС), дает будущему врачу знания по организации и проведению медицинской защиты в очагах радиационных поражений. Также актуально для студентов, обучающихся по специальностям «Лечебное дело» и «Медико-профилактическое дело», освоение ими основ обеспечения безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений, включая проведение лучевой терапии.

Вопросы медицинской защиты от воздействия негативных факторов радиационной природы рассматриваются на 1–2 курсах при изучении дисциплины БЖ в разделе «Защита человека от вредных и опасных факторов природного и техногенного происхождения» на этапе до дипломной подготовки студентов-медиков. В данном разделе изучаются: основы организации защиты населения от негативных факторов природного и техногенного происхождения; средства и методы контроля; технические средства индивидуальной и коллективной защиты; индивидуальные медицинские средства защиты; санитарная и специальная обработка. Особенности клиники и оказания медицинской помощи пострадавшим от воздействия ионизирующего излучения рассматриваются на 5–6 курсах в разделе «Медико-санитарное обеспечение населения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций радиационной природы» дисциплины МЧС. Для более углубленного изучения предмета в процесс преподавания, помимо лекций и практических занятий, организованы мастер-классы.

Наш дальнейший опыт распространяется на обучении выпускников в ординатуре, по специальности «Организация здравоохранения и общественное здоровье». Особенно актуально углубление знаний ординаторов по вопросам обеспечения радиационной безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, которое осуществляется в рамках дисциплины «Гигиена и эпидемиология чрезвычайных ситуаций». На занятиях рассматриваются вопросы лечебно-эвакуационного обеспечения, межведомственного взаимодействия при ликвидации ЧС, комплекса защитных мероприятий, в том числе использования медицинских средств.

Таким образом, очевидно, что изучение вопросов радиобиологии представляет собой процесс постоянного междисциплинарного взаимодействия, для её эффективного изучения необходимы знания, умения и навыки, формируемые рядом профессиональных дисциплин. Опыт преподавания радиобиологии показывает, что без принципов преемственности, последовательности и целостности программ, невозможно эффективное формирование профессиональных компетенций врача.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАВЫКОВ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В СЛУЧАЕ АВАРИЙ С РАДИАЦИОННЫМ ФАКТОРОМ

Г.П. Фролов, Е.И. Клименко, Е.Г. Метляев, И.К. Теснов

Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
frolov63@bk.ru

Организация и поддержание высокой противоаварийной готовности медицинских организаций ФМБА России предполагает применение медицинскими работниками различных специальностей не только знаний и умений оказания медицинской помощи, но и навыков, то есть практического воплощения безопасной профессиональной деятельности в чрезвычайных ситуациях.

Целью данного исследования является подготовка практического руководства для отработки навыков персонала медицинских организаций ФМБА России по оказанию первичной медико-санитарной помощи для типовых сценариев аварийных ситуаций с радиационным фактором.

Материалы и методы. Материалами исследования служат нормативно-методические документы Госсанэпиднормирования РФ, руководства ведущих научно-методических организаций Минздрава РФ, МЧС РФ ФМБА России, документы (в т.ч. материалы практических курсов) компетентных международных организаций (МАГАТЭ, ВОЗ, НКДАР ООН), отчеты ежегодных противоаварийных учений АМРДЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Методология разработки практического руководства основана на прогнозировании масштабов и сценариев аварийных ситуаций с радиационным фактором.

Результаты. Разработанное практическое руководство рассматривает типовые сценарии возможных медико-санитарных последствий аварийных ситуаций на радиационно-опасных объектах, обслуживаемых ФМБА России. Анализ проведен в отношении таких сценариев как: аварийное облучение при медицинских процедурах, потеря или криминальное использование источников облучения, транспортные аварии, инциденты с отработавшим ядерным топливом, аварии на реакторах малой мощности, а также аварии на энергетических реакторах большой мощности. Прогнозирование развития данных сценариев аварий проходило в направлении выявления характера аварийных ситуаций, степени вовлечения населения, сроков активации медицинского аварийного реагирования, типичных поражений, уровней переоблучения персонала, уровней облучения населения в условиях применения срочных защитных мер. Приведены эффекты облучения при чрезвычайных ситуациях радиационного характера и угрозах для здоровья участников аварийного реагирования. Дана первоначальная оценка последствий чрезвычайных ситуаций радиационного характера, приведены неотложные контрмеры и способы профилактики, особенности оказания первой и последующей медицинской помощи. Главы документа включают характер и объем практических навыков по использованию средств индивидуальной защиты, проведения санобработки и других радиационно-гигиенических мер защиты пострадавших.

Выводы. Проведение периодического контроля знаний и навыков медицинского персонала определяет успешное функционирование системы медико-санитарного обеспечения аварийной готовности и реагирования. Разработка практического руководства для отработки навыков персонала медицинских организаций ФМБА России по оказанию первичной медико-санитарной помощи для типовых сценариев аварийных ситуаций с радиационным фактором является подтверждением непрерывного совершенствования системы аварийной готовности и реагирования ФМБА России.

ОБУЧЕНИЕ ВОПРОСАМ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЮРИДИЧЕСКИХ И МЕДИЦИНСКИХ ВУЗАХ

И.В. Холиков

Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве
Российской Федерации, Москва, Россия
iv_kholik@mail.ru

Вопросы радиационной безопасности все чаще становятся предметом внимания не только профильных экспертов, но и ученых радиобиологов, а также представителей общественности. В первую очередь, это касается таких аспектов как непосредственное влияние радиационного фактора на организм человека, безопасность различных сторон его жизнедеятельности, экологию и условия труда. Но особую значимость указанные вопросы имеют в практической деятельности юристов и врачей, что обуславливает необходимость обучения этих специалистов в системе высшего образования.

Парадокс существующей системы высшего образования заключается в практически полном отсутствии подготовки юристов по данной проблематике в рамках учебных программ обучения как бакалавриата и магистратуры, так и местами «уцелевшего» специалитета юридических вузов. При подготовке студентов медицинских вузов, даже в рамках учебных программ по радиационной гигиене и организации здравоохранения, вопросы правового регулирования также не изучаются. Вместе с тем, широкое использование источников радиации во всех сферах человеческой жизнедеятельности и, как следствие, усиление контроля за соблюдением властных предписаний со стороны государственных органов обуславливает необходимость наличия правовых знаний у всех специалистов, так или иначе контактирующих с источниками радиации.

Необходимо отметить, что правовое регулирование радиационной безопасности осуществляется преимущественно Федеральными законами Российской Федерации от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также отдельными положениями от Федерального закона от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Представляется, что изучение данной нормативно-правовой базы как в юридических, так и в медицинских вузах может и должно осуществляться если не в качестве самостоятельной дисциплины, то хотя бы в рамках дисциплины «Конституционное право (Российской Федерации)» для будущих юристов и «Организация здравоохранения и общественное здоровье» для будущих врачей в формате 1-2 лекций и 2-3 семинарских занятий. Очевидно, что знание правовой базы, правоприменительной и судебной практики, умение использовать их на практике, позволят повысить общий уровень подготовки указанных специалистов, что, в свою очередь, будет напрямую способствовать укреплению радиационной безопасности страны и общества.

**ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСОВ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ
МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

В.В.Шилов, В.В.Конеv, В.А. Колобянин, А.Д.Чернобровин

Северо-западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова,
г. Санкт-Петербург, Россия
kvv.konev@yandex.ru

Изучение вопросов радиационной безопасности важная составная часть системы подготовки будущих специалистов медико-профилактического профиля с высшим профессиональным образованием. Опыт участия в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) радиационной природы – крупномасштабных радиационных аварий (Чернобыль, Фукусима и др.) не оставляет сомнения необходимости иметь с высокой степенью готовности к применению силы и средства медицинской службы, предназначенные для обеспечения радиационной безопасности, в том числе для организации и проведения специальных профилактических и специальных санитарно-гигиенических мероприятий.

Целью обучения студентов медико-профилактического профиля в рамках преддипломной подготовки является формирование у них компетенции – знаний, навыков и умений по проблемам радиационной безопасности. В Северо-западном государственном медицинском университете имени И.И. Мечникова с данной категорией обучаемых занятия проводятся при участии ряда учебных подразделений: кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены, кафедры токсикологии, экстремальной и водолазной медицины и других кафедр.

На кафедре токсикологии, экстремальной и водолазной медицины в соответствии с утверждёнными учебными программами и тематическими планами проводится обучение студентов медико-профилактического факультета по проблемам радиационной безопасности, в том числе при ликвидации последствий ЧС радиационной природы. Оно осуществляется в VII семестре в рамках изучения студентами учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». Основными задачами освоения учебной дисциплины является расширение кругозора медицинских знаний, развитие мышления по сохранению и укреплению здоровья населения в условиях воздействия на него поражающих факторов радиационных аварий и катастроф, привития навыков оценки радиационной обстановки, принятия решений по вопросам противорадиационной медицинской защиты.

Обучаемые получают знания и умения по вопросам радиобиологии, радиоэкологии, а также приобретают навыки в проведении и контроле эффективности специальных санитарно-гигиенических и специальных профилактических мероприятий по охране здоровья населения в условиях ликвидации последствий ЧС радиационной природы, в правильном и своевременном применении медицинских средств противорадиационной защиты, овладевают радиометрическими и эпидемиологическими методами исследования объектов внешней среды в целях выявления радиационной обстановки, контроля полноты дезактивации, обеспечения радиационной безопасности питьевой воды и продовольствия, методиками определения степени тяжести радиационных поражений по клиническим, инструментальным и лабораторным показателям.

Таким образом, организация и проведение обучения студентов медико-профилактического факультета по вопросам радиационной безопасности является неотъемлемой составной частью системы подготовки современных специалистов санитарно-эпидемиологических учреждений.

Научное издание

**VIII СЪЕЗД
ПО РАДИАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ**

Тезисы докладов

2021-40

Отвественный за подготовку сборника к печати И.В. Кошлань.

Сборник отпечатан методом прямого репродуцирования с оригиналов,
предоставленных оргкомитетом.

Подписано в печать 20.09.2021
Формат 60 x 84/8. Бумага офсетная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 51,61. Уч.-изд. л. 41,88. Тираж 435 экз. Заказ №60255

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru
www.jinr.ru/publish/