

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС И ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ», СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ, СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ИХ РЕШЕНИЯ СЕГОДНЯ

О. Ф. Сенюк¹, В. А. Краснов¹, В. М. Данилов²

¹*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*
²*ГСП "ЧАЭС", Славутич*

Проанализирован современный уровень решения проблем радиационной защиты персонала действующих АЭС и персонала, выполняющего работы по стабилизации и преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Показаны существенные отличия радиационного фактора действующих АЭС и объекта «Укрытие». В отличие от АЭС в объекте «Укрытие» практически отсутствует нейтронное излучение, а гамма-излучение имеет своеобразные пространственно-угловые характеристики; источники внутреннего облучения представлены уникальными "горячими" частицами, которые не характерны для помещений и выбросов АЭС. Обоснована необходимость усовершенствования средств индивидуальной защиты органов дыхания и использования оперативным персоналом АЭС и объекта «Укрытие» противолучевых комплексов для защиты как от хронического облучения в диапазоне малых доз, так и для случаев острого облучения.

Введение

Атомная энергетика в Украине представлена четырьмя действующими атомными электростанциями (АЭС) с ядерными реакторами (ЯР) типа ВВЭР и является одной из важнейших областей использования источников ионизирующих излучений. Развитие этой отрасли промышленности неразрывно связано с проблемой защиты обслуживающего персонала, населения и окружающей среды. При этом специфика форм и методов радиационной защиты определяется свойствами ионизирующих излучений (ИИ) и особенностями их воздействий на организм человека.

Основным источником потенциальной радиационной опасности на АЭС является работающий на мощности или остановленный ЯР. В связи с тем, что наиболее тяжелые по своим последствиям аварии имели место именно в атомной энергетике, эксплуатация ЯР требует особых мер предосторожности [1]. При выполнении работ по планово-предупредительному ремонту ЯР, перегрузке топлива, в процессе разуплотнения главного разъема реактора, зачистке гнезд шпилек этого разъема, шлифовке металла корпуса реактора, зачистке и шлифовке в парогенераторе, дезактивации парогенератора и главных циркуляционных насосов образуются большие количества газо-аэрозольных смесей, радиоактивных аэрозолей (РА) и летучих соединений йода [2, 3]. Их суммарная концентрация может кратковременно повышаться до 70 – 3000 Бк/м³ [3]. Однако используемые до настоящего времени в средствах индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) фильтрующие материалы имеют недостатки, не позволяющие надежно защитить персонал от указанных газоаэрозольных смесей [4].

С 1986 г. в Украине существует уникальный в своем роде ядерный объект – "Укрытие 4-го блока ЧАЭС", образовавшийся в результате запроектной аварии. Он состоит из конгломерата уцелевших фрагментов разрушенного 4-го блока, конструкций, возведенных в период ликвидации последствий аварии, поставарийных завалов с топливосодержащими материалами (ТСМ) и т.д. Основной источник опасности в объекте "Укрытие" – это ТСМ. Об уникальности этого объекта впервые было заявлено в общем Решении от 16 мая 1991 г. № 12-91 секции НТС Госпроматомнадзора СССР и Комиссии Госатомнадзора, в котором постулируется, что «по большинству своих характеристик ОУ не отвечает и, по всей видимости, не может отвечать требованиям норм и правил ядерной, радиационной и общей

безопасности». Сегодня объект «Укрытие» характеризуется как «место поверхностного хранения неорганизованных радиоактивных отходов (РАО), находящееся в стадии стабилизации и реконструкции» [5, 6] и ни конструктивно (отсутствие стадии проектирования), ни технологически (нет технологий, связанных с производством энергии) не вписывается ни в один из элементов ядерно-энергетического цикла.

Цель исследования - анализ состояния и путей решения проблем радиационной защиты персонала действующих АЭС и персонала, выполняющего работы по стабилизации и преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Структура радиационного фактора на действующих АЭС

Известно, что ИИ повреждают живое вещество в широком диапазоне доз – от малых до высоких. Многочисленные нарушения на разных уровнях структуризации организма возникают под непосредственным или опосредованным (через продукты радиолитической воды) воздействием ИИ. При увеличении дозы местный клеточный некроз и/или апоптоз в масштабах организма приобретает формы метаболического синдрома, системного воспаления, иммунологических расстройств и т. д. Перечисленные изменения в гомеостазе в свою очередь являются определяющими для появления и развития новообразований, изменений в клинической картине соматических заболеваний, росте ментальных расстройств и преждевременной смерти. Поэтому организация радиационной защиты персонала объектов атомной энергетики должна быть направлена на максимально возможное снижение доз внешнего и особенно внутреннего облучения с последующим уменьшением риска развития этих патологических изменений.

Источники и виды ионизирующих излучений действующих АЭС

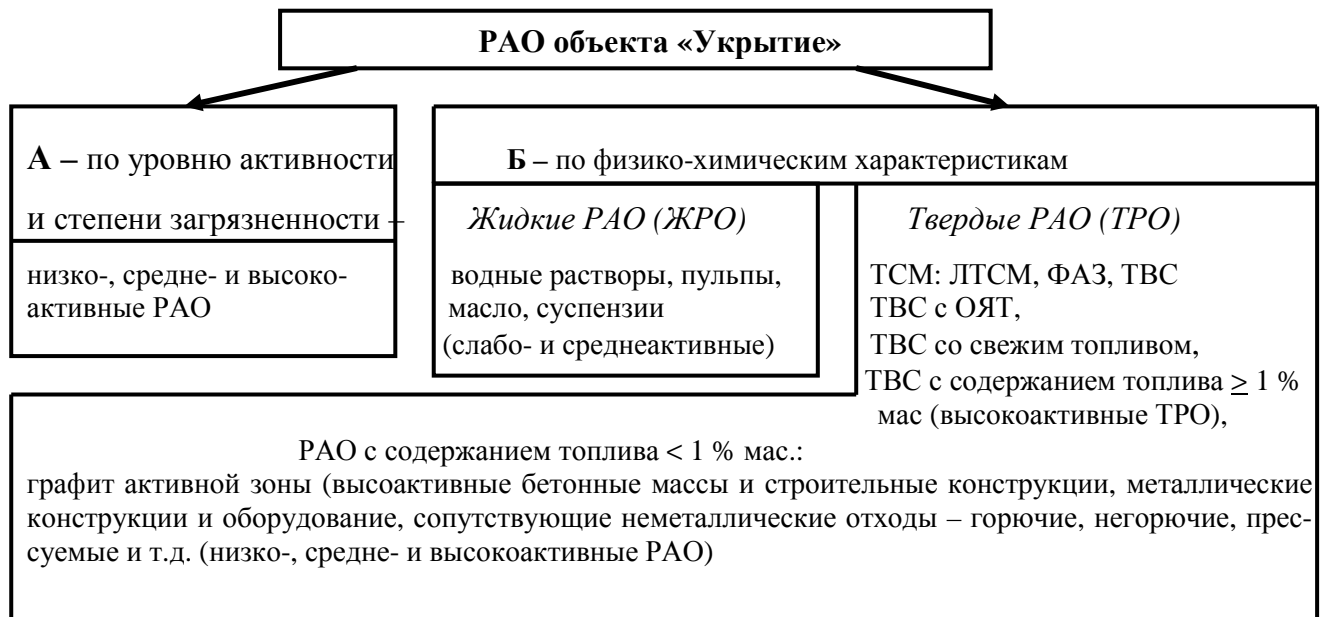
В отношении АЭС, функционирующих в рамках регламента, корректно говорить в основном о закрытых источниках ИИ, представляющих собой потенциальную опасность. Среди них следует выделить активную зону ЯР (потoki нейтронов и γ -излучения на ее границе превосходят предельно допустимые уровни в миллионы и миллиарды раз), трубопроводы и оборудование технологического контура (главные циркуляционные насосы, парогенераторы, компенсаторы объема и т.д.), бассейны выдержки с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), системы специальной водоочистки и их оборудование, сама защита реактора. При этом радиационное облучение, воздействующее на персонал АЭС, имеет сложную структуру и создается потоками внешнего n - и γ -излучения, которое остается после всех контуров защиты, а также воздухом рабочих помещений с радиоактивными газами и аэрозолями, радиоактивной загрязненностью (α - и β -излучателями) рабочих поверхностей, кожных покровов и спецодежды. По мере выгорания ОЯТ в реакторе постоянно образуются и накапливаются долгоживущие высокоактивные продукты деления, активированные под воздействием нейтронов радионуклиды (РН) – преимущественно ^{59}Fe , ^{54}Mn , ^{66}Zn , ^{60}Co , входящие в состав металлических конструкций корпуса ЯР и 1-го контура.

Важной дополнительной причиной появления РН является разгерметизация тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), как следствие воздействия на них высоких температур и радиационных нагрузок и процессов коррозионно-усталостного типа. На действующих АЭС с ВВР число ТВЭЛов с микротрещинами не должно превышать 1 %, а с крупными дефектами - 0,1 %. Для АЭС с РБМК (для зарубежных с PWR) пределы повреждения оболочек ТВЭЛов такие же, но в проектируемых АЭС они снижены соответственно до 0,1 и 0,01 % [3]. Тем не менее, ежегодными исследованиями на АЭС США установлено, что частота случаев повреждения активной зоны ЯР в действительности имеет место существенно чаще, чем это предусмотрено нормативными требованиями и техническими спецификациями [7].

Особенности ионизирующих излучений объекта «Укрытие»

Характерной особенностью Чернобыльской аварии было механическое разрушение оболочек твэлов, обеспечившее прямой контакт топлива с атмосферным воздухом при полном прекращении доступа воды в активную зону. Как свидетельствуют результаты экспериментов, при таких условиях ЯТ из диоксида урана, начиная с температуры 400 °С рассыпается на частицы с размерами от 1 до 15 мкм [8, 9]. Согласно существующим оценкам, в объекте «Укрытие» находится около 95 % высокоактивной топливной загрузки реактора (порядка 180 – 190 т урана и свыше 400 кг плутония [10, 11].) Практически все материалы объекта "Укрытие" являются радиоактивными отходами (РАО) и представляют собой большую часть всех накопленных в Украине высокоактивных отходов (ВАО). Это источники ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Pu , значительного количества изотопов $^{238,239,240}\text{Pu}$, а также накапливающегося после распада ^{241}Pu ^{241}Am [12 - 14]. Ядерноопасные делящиеся материалы (ЯОДМ) объекта «Укрытие», в отличие от таковых в действующих и остановленных ЯР АЭС, представляют собой открытые источники ИИ и определяют не потенциальную, а непосредственную опасность для персонала. Обследования разрушенных помещений этого объекта показали, что ЯОДМ находятся в разных модификациях – в виде фрагментов активной зоны (ФАЗ), тепловыделяющих сборок (ТВС) с ОЯТ; лавообразных ТСМ (ЛТСМ); в диспергированном состоянии (пыль и аэрозоли); в водных растворах солей урана. ЛТСМ представляют собой скопления стеклообразных масс в виде черной, коричневой и полихромной керамик и пемзообразных кусков серо-коричневого цвета. Считается, что основные процессы, протекающие в ТСМ, имеют устойчивый и предсказуемый характер [14].

Существующие национальные и международные классификации позволяют разделить все известные РАО объекта «Укрытие» [15] по следующим признакам:



К долгосуществующим относятся РАО, содержащие трансурановые элементы (ТУЭ), которые могут быть высоко-, средне- и частично низкоактивными РАО.

Особого внимания заслуживает обнаруженное интенсивное разрушение ЛТСМ с образованием на поверхности мелкодисперсных «горячих» частиц (ГЧ) [16]. Показано, что пылегенерирующая способность отработанного ЯТ объекта «Укрытие» из ЛТСМ различного типа имеет достаточно высокий уровень как в воздушной среде, так и в высоком вакууме [17, 18]. Годовое суммарное пылеобразование в объекте «Укрытие» только за счет этого механизма пылегенерации оказывается на уровне нескольких десятков килограммов облученного топлива [19]. В ГЧ средние активности β - и γ -излучающих РН уменьшаются в соответствии с периодом полураспада около 30 лет, а α -излучающих, наоборот, несколько

увеличиваются за счет накопления ^{241}Am как продукта распада ^{241}Pu . Из-за большого коэффициента отложения в органах дыхания (более 40 %) и высокого радиационного взвешивающего фактора (более 20) ГЧ объекта «Укрытие» считаются наиболее радиационноопасными. Длинный пробег α -излучателей в живой ткани (от 33 до 40 мкм) значительно (в 50 раз) увеличивает дозу облучения и риск последующего развития как опухолевых, так и неопухолевых заболеваний [20, 21]. Для β - и γ -активных РА установлены жесткие ПДК. Наиболее опасными являются РА, содержащие РН таких элементов, как цезий, стронций, кобальт, ТУЭ, с накоплением которых связано длительное облучение внутренних органов [22].

Таким образом, ИИ, воздействующие на персонал объекта «Укрытие», формируются потоками излучения от перечисленных источников (в основном γ - и n -видов); загрязненностью воздуха рабочих помещений радиоактивными инертными газами и аэрозолями, состоящими из ГЧ – носителей α -, β - и γ -излучателей; радиационной загрязненностью рабочих поверхностей, кожных покровов и спецодежды, скоплением «блочных» вод на нижних отметках, в которых возрастают среднегодовые концентрации стронция и урана [23, 24]. Их конкретные композиции определяют сочетанное воздействие на персонал внешнего и внутреннего облучения при любых видах деятельности. Наряду с хроническим регламентным облучением, персонал объекта «Укрытие» подвергается дополнительному риску облучения большими дозами. Ожидается, что при использовании стандартных технологий стабилизирующие мероприятия в объекте «Укрытие» будут сопряжены с большими дозозатратами внешнего облучения и высокой вероятностью получения высоких доз внутреннего облучения. Согласно данным, приведенным в таблице, источники ИИ действующих АЭС и объекта «Укрытие» существенно отличаются как по виду и мощности, так и материальным носителям. В отличие от АЭС в объекте «Укрытие» практически отсутствует n -излучение, а γ -излучение имеют своеобразные пространственно-угловые характеристики; источники внутреннего облучения представлены уникальными ГЧ, которые не характерны для помещений и выбросов АЭС.

Сравнительная характеристика источников ИИ действующих АЭС и объекта «Укрытие»

Объекты атомной энергетики Украины	Виды облучений		Внутреннее
	Внешнее		
	Дистанционное (потоки ИИ от источников)	Контактное	
АЭС	n -, γ -, β - Активная зона ЯР, трубопроводы и технологическое оборудование, бассейны выдержки с отработанным ЯТ, система спецводоочистки, защита ЯР	β -, γ - Радиоактивное загрязнение спецодежды, кожных покровов, глаз и т.д.	β -, γ - Газоаэрозольные формы йода
Объект «Укрытие»	γ -, β - Сохранившиеся фрагменты активной зоны, модифицированные аварией ТСМ и ЛТСМ, делящиеся материалы	α -, β -, γ - Радиоактивное загрязнение спецодежды, кожных покровов, глаз и т.д.	α -, β -, γ - В составе мелкодисперсной радиоактивной пыли

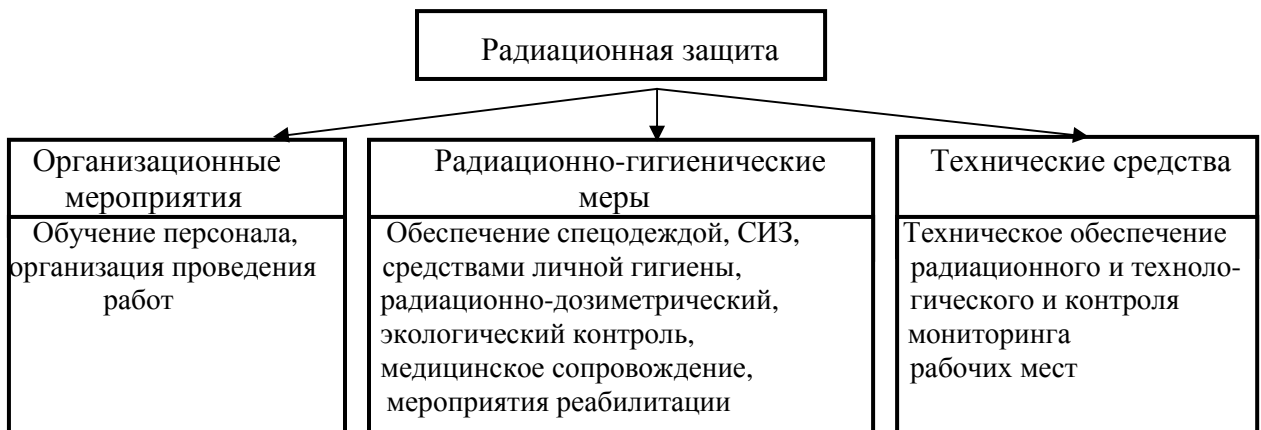
В связи с наличием высокой дисперсности топливной пыли объекта «Укрытие» (размеры от 25 до 50 нм) [20] возникает вопрос об эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). Об этом свидетельствует опыт ликвидации последствий Чернобыльской аварии [25] и результаты экспериментальных исследований задерживающей способности ткани Петрянова, выполненные в ИПБ АЭС НАН Украины [26]. Для оценки задерживающей активности фильтрующей ткани респираторов «Лепесток 200» использовали

модельные пыли на основе SiO_2 и WO_2 с АМАД от 0,1 до 5,0 мкм, возгоняемые в специально созданной установке с задаваемыми значениями температуры и влажности пылевоздушной смеси. Скорость воздухопотока составляла 1,55 см/с и была сравнимой со скоростью движения воздуха в верхних дыхательных путях человека. Суммирование результатов многих десятков экспериментов, в целом охвативших нескольких сотен прокачек модельной пыли, позволило сделать вывод о том, что в 58 % случаев задерживающая способность фильтрующей ткани респираторов «Лепесток 200» была меньше 90 %. При этом нижняя граница этого показателя достигала 52.2 % [27].

Биологический эффект при внутреннем облучении организма значительно выше. РН обладают определенным тропизмом к органам и тканям. Радий, фосфор, стронций, барий накапливаются в костях; церий, прометий, америций, кюрий, лантан – в печени; плутоний – в легких и костях; йод – в щитовидной железе, уран – в легких, почках, костях; тритий, натрий, кобальт, цезий распределяются в организме равномерно. Особенно опасны те из них, которые концентрируются вблизи костного мозга (стронций, плутоний). РН с большим периодом полураспада постоянно облучают организм, даже после прекращения работы с ними. Существование субмикронных РА в объекте «Укрытие» с рядом специфических свойств, отсутствием на границе «Укрытия» и внешней среды улавливающих фильтров представляет собой высокий потенциальный риск возникновения неблагоприятных биомедицинских последствий, как для персонала, так и для экологии 30-километровой зоны отчуждения, и требует срочной разработки противодействующих мероприятий. С одной стороны – это усовершенствование СИЗОД, а с другой – сорбция из биологических сред организма РН, особенно ТУЭ.

Противолучевая защита персонала на современном этапе. Радиопротекторы

В атомной энергетике для радиационной защиты персонала используются мероприятия (рисунок) [3], призванные создать максимально радиационнобезопасные условия для человека [27].



Общая схема радиационной защиты.

Основные компоненты выбросов АЭС - радиоактивные инертные газы (изотопы криптона, ксенона, аргона), аэрозоли радиоактивных продуктов деления и активированных продуктов коррозии, соединения йода. Из них наиболее радиационноопасны ^{131}I и его летучие соединения, в больших количествах и селективно накапливающиеся в щитовидной железе. В воздушной среде радиойод может существовать в виде аэрозоля и газа. При этом в газообразном состоянии он присутствует в виде элементарного (молекулярного), йодидов и различных органических соединений, в частности, йодистого метила [28, 29], а в условиях повышенной влажности – также в виде нестойкой гипойодной (йодоводородной) кислоты (НЮ) как продукт реакции элементарного йода с водяным паром [30].

Еще в 1986 г. в ГНЦРФ «НИФХИ» им. Л. Я. Карпова для легких респираторов была создана фильтрующая ткань, импрегнированная углем, пропитанным азотнокислым серебром. В России также был создан материал Филосорб и йодные фильтры-адсорбенты ФАИ-3000-1 и 3000-2 для вентиляционных систем АЭС [31, 32]. Основным препятствием для широкого использования азотнокислого серебра в фильтрах СИЗОД является их высокая стоимость.

Как ни парадоксально, но разнообразие существующих радиационных воздействий, неопределенность состояния и экстраординарный характер работ персонала [33], не отражается на тактике программы радиационной защиты в объекте «Укрытие». Уже сегодня анализ основных факторов, определяющих высокий уровень опасности проведения работ в этом объекте, позволяет наметить возможные пути решения проблем повышения безопасности для персонала. По-прежнему большое значение имеют организационные мероприятия (обучение, подбор персонала на профессиональную пригодность и т.д.) и совершенствование технических средств радиационной защиты. Наряду с этим следует развивать новые средства радиационной защиты, отвечающие сложным специфическим требованиям объекта «Укрытие» и более глубокому научному пониманию существующей проблемы.

Сегодня радиобиологические исследования выполняются в расширенном диапазоне доз радиационного облучения – от «сверхлетальных» и летальных до малых - и в условиях длительного воздействия облучения [34]. Классификация противолучевых препаратов базируется на разделении радиопротекторных препаратов (РП) по способности защищать от разных видов облучения – острого внешнего (классические РП), хронического внешнего (биопрепараты, стимуляторы радиорезистентности, адаптогены), внутреннего облучения, вызываемого инкорпорированными РН (сорбенты и антидоты) [35].

Сегодня известны лишь несколько классических РП, обеспечивающих выживаемость личного состава после облучения высокими дозами на время, необходимое для выполнения боевой задачи. Это синтетические вещества - соединения индольного ряда, цистеина и его производных. Они применяются от 5 до 60 мин до облучения, переводят организм в состояние повышенной радиорезистентности лишь на короткое время (до 6 ч.) и эффективны в максимально переносимой и субтоксической дозе.

Особенности ИИ современного объекта «Укрытие» вынуждает искать для персонала РП иного типа, способные активно снижать биологические эффекты хронического облучения низкими дозами и повышать радиационную устойчивость организма, с последующим уменьшением рисков как немедленных, так и отсроченных негативных медико-биологических последствий воздействия ИИ. Для этих целей классические РП с их кратковременным действием и высокой токсичностью заведомо непригодны.

Универсальными эффектами ИИ в живом веществе являются липоперекисный стресс и резкое локальное увеличение кислотности в треках заряженных частиц [35]. Поэтому РП должны обладать мощными антиоксидантными свойствами и способностью поддерживать кислотно-щелочное равновесие во внутренних средах организма. Радиационная стимуляция клеточного апоптоза и цитокиновой системы приводит к развитию общего воспаления, стимуляции реакций аутоаллергии и аутоиммунитета. Именно эти реакции играют ключевую роль в клинических проявлениях эффектов малых доз облучения – омоложении возрастной патологии, увеличении аллергизации населения, росте сердечно-сосудистой, неврологической, опухолевой патологии, психических расстройств и развитии синдрома преждевременного старения. Поэтому для защиты от хронического облучения малыми дозами к РП выдвигается требование наличия иммуномодулирующих свойств адаптогенов [36]. Но в отличие от классических РП, адаптогены проявляют более высокую противолучевую эффективность по мере снижения мощности и величины дозы облучения и имеют оптимум радиозащитного эффекта при хроническом радиационном облучении в малых дозах на фоне техногенного химического загрязнения [34].

В качестве принципиально нового средства для радиационной защиты и усиления адаптационных возможностей хронически облучаемого персонала действующих АЭС и объекта «Укрытие» ученые Института клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины предложили меланин-глюкан-хитиновый комплекс (МГХК), представляющий собой смесь натуральных биополимеров, полученных из клеточных стенок высших базидиальных грибов, с 70 %-ным содержанием хитина, 20 %-ным содержанием β -1,3- и β -1,6-глюканов и 10 %-ным содержанием меланиновых пигментов. Полученный хитин имеет микрофибрилярную структуру с большой удельной поверхностью более 1000 м²/г материала и обладает уникально высокими сорбционными свойствами по отношению к ионам тяжелых металлов (свинец, ртуть, висмут, хром и др.), РН (уран, плутоний, америций, цезий, стронций и др.) [37] и многим эндотоксинам [38]. МГХК не сорбирует основные биогенные микроэлементы (натрий, калий, кальций и др.) и поэтому не нарушает солевой обмен организма [40 - 42]. Хитин является одним из немногих органических сорбентов, которые не перевариваются в ЖКТ человека и не вызывают негативных эффектов при длительном применении. Глюканы МГХК, как и меланины, имеют аморфную форму и известны как хорошие иммуномодуляторы. На их основе создан целый ряд препаратов, описанных в работе [43]. Меланины МГХК благодаря наличию большого количества парамагнитных центров способны нейтрализовать свободные радикалы, возникающие в организме под воздействием проникающего излучения, химических и бактериальных токсинов, и являются мощными натуральными биопротекторами. Эти свойства меланинов обеспечивают высокий уровень защиты жизнедеятельности живой клетки и стабильность ее генетической системы. Глюкан-меланиновый комплекс проявляет мощные генопротекторные и бактериостатические свойства [44 - 46]. Медико-биологические исследования показали, что МГХК нетоксичен (заключение Фармкомитета МЗ Украины № 10 от 28 декабря 1995 г.), имеет разрешение Государственной санитарно-гигиенической экспертизы № 7.09.2806 от 13 ноября 1997 г. для использования в качестве пищевой добавки. Клинические испытания в Киевском городском центре хирургии печени позволили установить, что МГХК превосходит известные отечественные и зарубежные энтеросорбенты по способности выводить РН цезия и соли тяжелых металлов. При 10-дневном курсе (три приема по 0,5 г в сутки) у людей, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях, он снижает содержание цезия и тяжелых металлов от четырех до пяти раз, одновременно уменьшая уровень эндогенной интоксикации и восстанавливая функции клеток печени [38].

Таким образом, структура МГХК, отсутствие токсических свойств обеспечивают этому комплексу наиболее полный спектр качеств, необходимых для РП-адаптогена. В МГХК скоцентрированы основные потенции многих известных препаратов, позволяющие достичь качественно нового уровня защиты от ИИ.

Проблемы дозиметрии, расчета медицинских рисков и прогнозов для персонала действующих АЭС и объекта "Укрытие"

Суммарная активность РН в объекте "Укрытие" составляет около 17 млн Ки [47], а неравномерность распределения ТСМ обуславливает большой разброс значений МЭД – от 1 до 700 - 800 Р/ч в центральном зале над реакторным пространством на отметке 15, достигая в некоторых точках 2600 - 3410 Р/ч в бассейне выдержки [47, 48]. Именно неравномерность распределения ТСМ является причиной существенных различий в пространственно-угловых характеристик γ -излучений в объекте «Укрытие», преимущественно с вертикальной пространственной ориентацией и неравномерностью дозовых нагрузок на органы-мишени. Измерения распределения разовой дозовой нагрузки внешнего γ -облучения по частям тела после работ в таких помещениях «Укрытия» показали, что нижние конечности получают значительно большую дозу по сравнению с грудной частью тела, где обычно прикрепляются индивидуальные дозиметры. Эти обстоятельства требуют разработки дифференцированных подходов к подсчету конкретных дозозатрат и верифицированному обоснованию для использования СИЗ.

Для корректной оценки радиационно-экологической опасности объекта «Укрытие» и прогноза воздействия источников γ -излучения на персонал, аппаратуру/оборудование и окружающую среду необходим банк детализированных данных о пространственном распределении параметров γ -полей - мощности экспозиционной дозы, энергетических и угловых распределений квантов, формирующих поле. По необслуживаемым помещениям и помещениям объекта «Укрытие», где невозможно полностью исключить пребывание персонала, такого банка систематизированных данных пока еще не существует. Отсутствие этой информации не позволяет корректно рассчитывать дозовые нагрузки по планируемым радиационноопасным работам.

Главная нерешенная проблема, связанная с ГЧ, - это отсутствие норм радиационной безопасности, созданию которых препятствуют пробелы в знаниях сущности проблемы и неопределенность в следующих важных вопросах:

осуществление контроля эффективной дозы внутреннего облучения персонала объекта «Укрытие»;

отсутствие надежных методов обнаружения ТУЭ *in vivo* в организме человека, пригодных для обследований, в частности персонала, временно привлекаемого для выполнения тех или иных радиационноопасных работ;

отсутствие информации о закономерностях интенсивности пылеподъема на рабочих местах в зависимости от характера проводимых работ;

отсутствие знаний о скорости растворимости в биологических средах различных видов высокодисперсных ГЧ, образующихся из ТСМ.

Известно, что НРБУ-97, НРБУ-97/Д-2000, СПРБ-ОУ/2001 отдельно не регламентируют допустимые концентрации субмикронных радиоаэрозолей в воздухе объекта «Укрытие». В СПРБ-ОУ, которые, с одной стороны, соответствуют требованиям НРБУ-97, а с другой, учитывают уникальность объекта «Укрытие», имеются лишь разъяснения, как поступать в случае, если реальные аэрозоли не обладают «типичными» характеристиками, изложенными в соответствующем приложении (приложение № 1). В этих случаях или при проведении работ с химическим либо термическим воздействием на загрязненные конструкции или ТСМ в «Укрытии», или обнаружении в аэрозолях значительных количеств химических форм урана и ТУЭ, отличных от окислов, указанных в соответствующей таблице, возможно установление значений допустимых концентраций α - и β -излучающих РН в воздухе на основании дополнительных исследований.

Среди всех путей поступления РН во внутренние пространства организма наиболее сложным для интерпретации является ингаляционный. Для оценки ингаляционного внутреннего облучения используются сложные модели отложения и выведения РН из респираторного тракта человека, которые в настоящее время приняты МКРЗ [49]. Стандартная модель МКРЗ отложения аэрозолей в респираторном тракте рассматривает следующие составные части дыхательной системы человека:

1. Внегрудная область:
передний носовой отдел;
остальные отделы внегрудной области.

2. Грудная область:
трахеобронхиальный отдел;
bronхиальный отдел,
альвеолярно-интерстициальный отдел.

Предполагается, что со временем первичное равномерное распределение частиц изменяется вследствие перемещения их реснитчатым эпителием бронхов по направлению к выходу из респираторного тракта. Последовательное применение модели расчета первичного отложения частиц и модели их выведения приведено в работе [50] и относится к взрослому человеку среднего веса с референтным типом поведения под воздействием «легкой физической нагрузки» и аэрозолей типа S, АМАД 1 мкм. Эти модели расчетов приняты как некий стандарт [51] и предполагают равномерное распределение по органу активности, содержащейся в РА; учет особенностей метаболизма отдельных РН и их химической формы; умножение значения поглощенной дозы на некий весовой коэффициент, характеризующий

относительную онкопоражаемость данного органа или ткани при определении величины эффективной дозы.

Сложность проблемы радиационно-гигиенической оценки фактора ГЧ состоит в том, что при поступлении этих частиц в респираторный тракт происходит локальное, а не равномерное облучение ткани легкого с высоким градиентом доз. На сегодняшний день пока нет достоверной экспериментальной информации о метаболизме ГЧ, начиная со скорости их растворения в биологических средах организма. Известно, что опухолевая трансформация потенциально злокачественных клеток на уровне целостного организма сдерживается мощной системой нейро-иммуно-гормонального надзора и очень зависит как от индивидуальных свойств генетической программы, так и от конкретных условий микроокружения мишеневой ткани. Указанные особенности не учтены в цитируемых моделях.

С момента опубликования общих рекомендаций МКРЗ по радиационной защите в 1990 г. появились новые обширные экспериментальные данные в радиационной эпидемиологии, радиогигиене и радиозоологии, биологической дозиметрии и др., связанных с таким комплексным понятием, как «радиационная защита». Недавно председатель МКРЗ Роджер Кларк заявил об активной поддержке этой организацией развернувшейся дискуссии о философских основах радиационной защиты. Постулируется, что воздействия облучения на здоровье, для которых выявляется дозовый порог, являются результатом потери функций значительного числа клеток в ткани. Если распределение дозы очень неоднородно, местное, даже очень интенсивное, поражение на начальных этапах может не снизить активность всей ткани. При этом прогноз сильно зависит от распределения высвобожденной дозы как во времени, так и в пространстве. Он также зависит от эволюции структурных нарушений клеточного материала, в особенности ядерной и митохондриальной ДНК, с последующим апоптозом клеток и развитием системного иммунного тканеспецифического воспаления. Неконтролируемая системная стимуляция аутоиммунных процессов приводит к снижению функции ткани/органа и находит свое проявление в виде клинических признаков болезни.

Таким образом, для оценки неравномерного ингаляционного внутреннего облучения, связанного с ГЧ из ТСМ объекта «Укрытие», еще предстоит создать корректные модели отложения и выведения из респираторного тракта человека РН, освобождаемых из ГЧ при контакте с биологическими средами организма.

Согласно данным, приводимым в отчете НКДАР ООН Генеральной Ассамблее за 2000 г., у занятых на восстановительных работах на ЧАЭС 1986 - 1987 гг. и получивших дозы от 0,01 до 0,5 Гр существует потенциальный риск радиогенных раков. Но ретроспективный анализ заболеваемости такими опухолями не позволил обнаружить повышение риска их появления даже среди занятых на восстановительных работах. Тем не менее, следует отметить тенденцию в увеличении как общей заболеваемости, так и заболеваемости по разным классам нозологий, которые не совпадают с изложенной выше точкой зрения НКДАР ООН на отсутствие медицинских последствий при длительном надфоновом радиационном облучении людей. Согласно данным Российского государственного медико-дозиметрического регистра на выборке 159027 лиц показатели заболеваемости превышают общестатистические данные по населению России по злокачественным новообразованиям лишь на 65 %, в то время как по болезням эндокринной системы - в 18 раз, психическим расстройствам - в 9,6 раз, болезням органов пищеварения - в 3,7 раз. Основной вклад в структуру инвалидности (8006 инвалидов) вносят болезни нервной системы и органов чувств (26,4 %), психические расстройства (15,1 %) и болезни органов пищеварения (7,6 %). Одновременно вклад новообразований (с учетом злокачественных) составляет лишь 3,6 % [53].

Согласно результатам ежегодных медосмотров, у персонала объекта «Укрытие» выявляется тенденция к стабильному росту заболеваемости, которая превышает заболеваемость персонала ГСП ЧАЭС на 21,1 %, причем болезни органов дыхания у персонала объекта «Укрытие» выявляются на 11,3 %, а сердечно-сосудистые на 5,5 % чаще, чем у персонала

ГСП ЧАЭС. Анализ заболеваемости персонала этого объекта по сравнению с этим показателем у населения Киева демонстрирует высокий риск психических расстройств (в основном психоневрозы), болезней желудка и 12-перстной кишки, нервных заболеваний, ишемической болезни сердца, заболеваний глаз [54].

В условиях хронического воздействия комплекса низкоинтенсивных факторов производственной среды, характерных для помещений объекта «Укрытие», эффективность противолучевой защиты персонала во многом зависит от возможности оценки индивидуальной чувствительности работников, в частности к радиационному облучению. Выявление контрастных по устойчивости к низким и средним дозам ИИ генотипов могло бы способствовать принципиальному изменению методов выделения групп "повышенного риска" среди разных категорий персонала объекта «Укрытие», а также быстрой разработке корректных способов усиления адаптационных реакций к вредным производственным факторам. Выявление таких генотипов имеет принципиальное значение для прогноза рисков не только в области канцерогенеза, но и других грозных заболеваний - склероза легочной ткани с выходом в хроническую пневмонию, эмфизему, бронхиальную астму и т.д.

Таким образом, для решения задач гигиенического нормирования актуальным является выполнение фундаментальных исследований, позволяющих количественно оценивать радиационное воздействие ГЧ топливного происхождения и риски развития органной и системной патологии, в том числе и опухолевой трансформации легочной ткани.

К вопросу о показателях риска жизни и здоровью человека от источников ИИ

Согласно НРБУ-97, мерой вреда для здоровья облученного человека, подлежащей ограничению, является величина радиационного риска (РР) и сопряженных с ним понятий пренебрежимого, приемлемого риска и верхней границы индивидуального риска. Ее использование вводится как для стохастических, так и для детерминистических эффектов. В связи с тем, что РР характеризуются отсроченными проявлениями вреда здоровью (латентный период радиогенного рака составляет от 10 до 50 лет), НРБУ-97 априори не могут использоваться для стохастических эффектов. Совершенно очевидно, что среднее значение потерянных лет жизни на один случай радиогенного летального рака значительно меньше, чем средняя потеря лет жизни в случае немедленной смерти. Использование таких норм РР оправдано лишь для научных работ 20 – 30-летней давности и объясняется уровнем развития знаний в те годы о медико-биологических последствиях облучения в разных дозовых диапазонах [55]. Учитывая накопленные в последние десятилетия знания о биологической активности малых доз ИИ, МКРЗ пошла на использование интегрального показателя пожизненного риска, оперирующего риском смерти и заболевания, а также разницей в значении величины потерянных лет здоровой жизни для разных видов рака [56]. Но следует особо подчеркнуть, что все предложенные стереотипы выведения показателей РР сегодня еще обслуживают лишь риски от радиогенных раков без оценки вероятности развития нераковых заболеваний. Авторы работы [49] предлагают в качестве универсального показателя для нормирования или сравнения риска потерянные годы жизни в результате годового пребывания человека под воздействием ИИ (*приведенный годовой ущерб*). В качестве физической меры воздействия на здоровье человека используется «доза» этого воздействия и, опуская строгий математический вывод, значение РР (R) выписывают так:

$$R = \text{мощность получаемой годовой дозы ИИ} \times \text{потеря лет жизни от единицы дозы}$$

Примеры значений показателя потери лет жизни берут из литературы либо устанавливают самостоятельно. В среднестатистическом смысле R - это как бы доля этого года, которая теряется в результате действия рассматриваемого источника риска в течение всего года. Реально же теряются годы жизни после этого воздействия.

В качестве демонстрации нормирования риска авторы [57] оценивают влияние мелко-дисперсных аэрозолей (МДА) с диаметром частиц не более 2,5 мкм, выбрасываемых энергетическими предприятиями, и мышьяк:

0,0006 лет/год · мкг/м³ для МДА аэрозолей (население Европейского Союза)

0,0008 лет/год · мкг/м³ для МДА (население России)

0,002 лет/год · мкг/м³ для мышьяка (глобальное население).

Для МДА основным эффектом воздействия на здоровье человека являются заболевания органов кровообращения и дыхания (бронхиты и другие респираторные заболевания, инфаркты, инсульты, рак и др.) и смерть от них, а для мышьяка – рак.

Таким образом, показатель риска *приведенного годового ущерба* можно использовать для установления универсальных норм радиационной безопасности.

Особенности реализации принципов ALARA в системе мероприятий радиационной защиты на действующих АЭС и в объекте «Укрытие»

В соответствии с международными и украинскими стандартами, рекомендациями МКРЗ, специально созданными стандартами для объекта «Укрытие» ("Контрольные уровни радиационной безопасности-98 для ОУ"), радиационная защита персонала АЭС, в том числе и персонала объекта «Укрытие», должна выполняться с учетом ключевых принципов ALARA (от As Low As Reasonably Achievable): *оправданности деятельности, принципа оптимизации и принципа ограничения.*

Опыт внедрения принципов ALARA на украинских АЭС пока невелик, и основным направлением ALARA-деятельности следует считать управление процессом оптимизации мероприятий радиационной защиты, специфика которых напрямую зависит от особенностей радиационного фактора.

Считается, что социальная оправданность работ по превращению объекта «Укрытие» в экологически безопасный объект подтверждается де-факто существованием соответствующих решений правительства Украины и «Плана осуществления мероприятий».

Главная цель деятельности на объекте «Укрытие» - преобразование разрушенного энергоблока в экологически безопасную систему и обеспечение защиты персонала, населения и внешней среды от неблагоприятного воздействия содержащихся в нем РАО. Согласно "Стратегии" [58] преобразование объекта «Укрытие» должно осуществляться в три этапа: 1-й – стабилизация, повышение его надежности и долговечности конструкций и систем; 2-й - инженерные работы, необходимые для реализации технологий извлечения ТСМ; 3-й - извлечение ТСМ, их компактирование и переводение в экологически безопасное состояние.

Только при выполнении работ по укреплению строительных конструкций объекта в зависимости от варианта исполнения, согласно предварительным оценкам ожидаемой коллективной дозы облучения, выполненным Консорциумом КСК (Украина), с экранированием и без него, составят 59 и 95 чел-Зв соответственно [59], а при строительстве «Арки» эти затраты, согласно предварительным расчетам Консорциума Bechtel International system, Battelle Memorial Institute, Institute Electricik de France и КСК составят 450 чел-Зв [60]. При этом стоимость ограждений, экранов, а также СИЗ будет настолько высокой, что войдет в противоречие с классической трактовкой принципов ALARA. В связи с этим для снижения индивидуальных и коллективных доз облучения важное значение приобретают мероприятия радиационной защиты с особым акцентом на управлении процессом их оптимизации, а именно:

- 1) планирования и внедрения мероприятий, направленных на снижение дозовых нагрузок на персонал;
- 2) планирования радиационноопасных работ, дозовых нагрузок и радиационно-дозиметрического контроля;
- 3) обучения персонала и организация проведения радиационно-опасных работ;
- 4) анализа выполнения мероприятий по РЗ после проведения таких работ.

Этому вопросу уделяется большое внимание со стороны органов государственного регулирования и эксплуатирующих организаций, в частности объекта «Укрытие». Здесь

воплощение ALARA-принципов имеет определенную специфику, связанную прежде всего с радиологической опасностью ТСМ и делящихся материалов, являющихся открытыми источниками долговременного риска не только для нынешнего, но и для многих будущих поколений. В ближайшие 300 – 500 лет этот риск будет определяться радиоактивностью продуктов деления, а спустя десятки и сотни тысяч лет – радиоактивностью ТУЭ, к которым принадлежат ^{241}Am (период полураспада около 430 лет) и ^{239}Pu (> 24 тыс. лет) [61], что вынуждает планировать и выполнять масштабные работы по уменьшению радиационного загрязнения помещений и экранированию персонала от открытых источников ИИ нерегулярной конфигурации. Загрязнение помещений этого объекта мелкодисперсными радиоаэрозолями, легко проникающими через СИЗОД, порождает нетривиальную проблему как их оптимизации [61], так и создания отечественного противолучевого средства для постоянного использования [62 - 64], а также усовершенствования контроля внутреннего облучения от инкорпорированных микронных и субмикронных радиоаэрозолей.

Все работы по стабилизации и преобразованию объекта «Укрытие» требуют нестандартных организационных и технологических решений. Поэтому острую актуальность приобретает вопрос значительного расширения списка средств радиационной защиты, оптимальных к использованию в специфических условиях объекта «Укрытие» с позиции анализа "польза - затраты".

Учитывая высокую вероятность лучевых поражений при возникновении аварийных ситуаций на АЭС, необходимо заблаговременно планировать и выполнять сложную систему радиозащитных мер, в том числе и медицинских [65], и разрабатывать алгоритмы действий персонала в случаях превышения нормативных доз облучения с предусмотрением всех возможных путей снижения тяжести его медицинских последствий.

Выводы

1. ИИ действующих АЭС и объекта «Укрытие» существенно отличаются как по виду и мощности, так и материальным носителям.
2. В отличие от АЭС в объекте «Укрытие» практически отсутствуют n -излучения, а γ -излучения имеют своеобразные пространственно-угловые характеристики;
3. В объекте «Укрытие» источники внутреннего облучения представлены уникальными ГЧ, которые не характерны для помещений и выбросов АЭС.
4. На АЭС источниками внутреннего облучения оперативного персонала являются газоаэрозольные смеси, радиоактивные аэрозоли и летучие соединения йода.
5. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» характеризуются высокой биологической опасностью и являются источниками долговременного риска.
6. Остро актуальной является проблема усовершенствования дозиметрического контроля внутреннего облучения, создаваемого инкорпорированными ГЧ.
7. Оптимизация дозиметрии внутреннего облучения оперативного персонала объекта «Укрытие» невозможна без фундаментального изучения биологической активности ГЧ топливного происхождения.
6. Используемые в объекте «Укрытие» табельные СИЗОД не обладают достаточными защитными свойствами.
7. Существует необходимость использования оперативным персоналом АЭС и объекта «Укрытие» противолучевых средств для защиты как от хронического облучения в диапазоне малых доз, так и для случаев острого облучения.
8. Противолучевые комплексы должны стать обязательным компонентом в системе радиозащитных средств.
9. МГХК из высших базидиальных грибов обладает наиболее полным комплексом свойств, необходимых для противолучевого средства.
10. Доработка МГХК до уровня противолучевого средства позволит существенно снизить влияние внешнего и внутреннего облучения на здоровье людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Легасов В.А., Демин В.Р.* Экономика безопасности ядерной энергетики. - М.: Знание, 1984.
2. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).* СП 2.6.1.758-99. Изд. офиц. Минздрав России. 1993.
3. *Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на АЭС /* Под ред А. В. Носовского. – К.: Укратомиздат, 1998. - 405с.
4. *Крицкий В.Г., Ампелогова Н.И., Крупенникова В.И.* Сравнительные испытания эффективности сорбционно-фильтрующих материалов для очистки газовых выбросов от радиоактивного иода // Атомная энергия. - Декабрь 2004. - Т. 97, вып. 6. - С. 457 - 464.
5. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).* МОЗ України. – К., 1997. - С. 121.
6. *НРБУ-97/Д-2000,* с. 60.
7. *Лохбаум Д.* Исследование рисков на атомных электростанциях: удручающее качество // Энергетика и безопасность. - 2001. - № 15, <http://www/ucsusa/org/energy/nuc risk/html>.
8. *Iwasaski M, Sakurai T., Ishikawa N., Kobayashi I.* Oxidation of UO₂ Pellets in Air // Juon. Of Sci and Technol. – 1968. - Vol.5(2) – P. 625 - 623.
9. *Кашипаров В.А., Иванов А.И., Зварич С.И. и др.* Моделирование образования горячих частиц во время аварии на ЧАЭС // Радиохимия. - 1994. - Т. 36 (1)б. - С. 87 - 93.
10. *Ключников А.А.* Современное состояние объекта «Укрытие» и реализация международного проекта его преобразования в экологически безопасную систему (SIP) // Проблемы Чернобиля. – 2002. - Вып. 11. - С. 6 - 11.
11. *Дмитриенко А.В., Корнеев А.А., Селянский Н.Н. и др.* Источники и дозы облучения персонала объекта «Укрытие» // Там же. - 2001. - Вып. 7. - С. 72 - 78.
12. *Бондаренко О.О., Репін В.С., Берковський В.Б. та ін.* Значення та оцінка очікуваних доз внутрішнього опромінення при інгаляційному надходженні для робіт в об'єкті "Укриття" // Наука. Чернобыль-96: Зб. тез. наук.-практ. конф. 11 - 12 лют. 1997 р. - К., 1997. - С. 228.
13. *Алешин А.М., Батий В.Г., Ключников А.А. и др.* Стратегия обращения с радиоактивными отходами объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 1998 – Вып. 2. - С. 7 – 11.
14. *Богатов С.А., Боровой А.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М.* Работы по ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие» в 1996 - 1997 гг. - Чернобыль, 1998, - 22 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 98-13).
15. *Алешин А.М., В.Г.Батий, А.А.Ключников и др.* Стратегия и технологии обращения с радиоактивными отходами объекта «Укрытие». - Чернобыль, 1997. - 24 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 97-6).
16. *Жидков А.В.Б Гончар В.В. Веклич Е.Л. и др.* Определение механизмов разрушения и важных физических характеристик облученного топлива и лавообразных топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. – 1998. - Вып. 2. - С. 25 – 29.
17. *Барьяхтар В.Г., Гончар В.В., Жидков А.В., Ключников А.А.* Радиационные повреждения в лавообразных топливосодержащих материалах объекта «Укрытие». - Чернобыль, 1998. – 18 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 98-12).
18. *Барьяхтар В.Г., Гончар В.В., Жидков А.В., Ключников А.А.* О пылегенерирующей способности аварийного облученного топлива и лавообразных топливосодержащих материалов объекта «Укрытие». - Чернобыль, 1997. - 20 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 97-10).
19. *Жидков А.В., Гончар В.В., Веклич Е.Л. и др.* Исследование физико-химических свойств топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. – 1998. - Вып. 3. - С. 33 – 35.
20. *Быховский А.В., Зараев О.М.* Горячие аэрозольные частицы при техническом использовании атомной энергии. - М.: Атомиздат, 1974. 256 с.
21. *Бондаренко О.А.* Методы изучения формирования доз облучения от трансураниевых элементов. – К.. Наук. думка, 1998. - 134 с.
22. *Пархоменко Г.М., Конаев В.В.* Физиологические основы радиационной гигиены труда. М.: Атомиздат, 1977. 152 с.
23. *Богатов С.А., Боровой А.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М.* Работы по ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие» в 1996 – 1997 гг. – Чернобыль, 1998. - 23 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 98-13).

24. *Авария на ЧАЭС и ее последствия - информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ, Вена, 25 -29 авг. 1998 г. - (Доклад /ГКАЭ СССР).*
25. *Абалин С.С., Бабаев Н.И., Кузьмина И.Е., Чечеров К.П.* Исследование радиоактивных аэрозолей и разработка рекомендаций по снижению ингаляционных дозовых нагрузок персонала, занятого работами на объекте «Укрытие» // Научные проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС: Тез. докл. науч. сем., Звенигород, 15 - 19 окт. 1991.
26. *Сенюк О.Ф., Мышковский Н.М., Ивченко В.Г. и др.* Улучшение радиозащитных свойств легких респираторов «Лепесток» при помощи меланин-глюканового комплекса // Медико-биологические проблемы противолучевой и противохимической защиты. - СПб.: Фолиант, 2004. - С. 407 – 408.
27. *Радиационная защита.* Публикация МКРЗ № 26: Пер. с англ. / Под. ред. А. А. Моисеева и П.З. Рамзаева. - М.: Атомиздат, 1978. - 88 с;
28. *Стыро Б.И., Недвецкайте Т.Н., Филитович В.И.* // Изотопы йода и радиационная безопасность. - СПб.: Гидрометеиздат, 1992. - 256 с.
29. *Кузнецов Ю.В., Суходолов Г.М., Елизарова А.Н., Чватов В.Н.* К вопросу о химических формах йода в отходах АЭС // Радиохимия. - 1981. - № 6. - С. 923 – 926.
30. *Стырикович М.А., Мартынова О.И., Катковская К.Я. и др.* Переход йода из водных растворов в насыщенный пар // Атомная энергия. - 1964. - Т. 17, вып.1. - С. 43 - 49.
31. *Корниенко В.И., Ампелогова Н.И., Крупенникова В.И.* Разработка сорбционно-фильтрующего материала для улавливания радиоактивного йода из газоаэрозольных выбросов // Радиохимия. - 2004. - Т. 46, № 6. - С. 559 – 563.
32. *Фильтр-адсорбер противоiodный ФАИ-3000/1 ТУ 95 2753-2000, ФАИ-3000/2 ТУ 95 2755-2000 для АЭС.* Срок действия с 28.02.01. - Обнинск, ЗАО «Прогресс-Экология», 2000.
33. *Купный В.И.* Международное сотрудничество - важнейший фактор решения проблем повышения текущей безопасности объекта “Укрытие”, его стабилизации и преобразования в экологически безопасную систему // “1998: Міжнародне співробітництво - Чорнобилі”, 13 - 16 жовт. 1998 р. - Славутич, 1998. - С. 12.
34. *Кудряшов Ю.Б., Гончаренко Е.Н.* Современные проблемы противолучевой химической защиты организма // Радиационная биология. Радиозащита. - 1999. - Т. 39, № 2-3. - С. 197 – 212.
35. *Бяков В. М., Степанов С. В.* О механизмах первичных радиологических эффектов // Радиационная биология. Радиозащита. - 1997. - Т. 37, № 4. - С. 469 – 474.
36. *Гончаренко Е. Н., Кудряшов Ю. Б.* Гипотеза эндогенного фона радиорезистентности. - М.: Изд-во МГУ. - 1980. - 176 с.
37. *Горовой Л. Ф., Косяков В. Н.* Клеточная стенка грибов - оптимальная структура для биосорбции // Биополимеры и клетка. - 1996. - Т. 12, № 4. - С. 49 – 60.
38. *Gorovoj L., Burdukova L., Zemskov V., Prilutsky A.* Chitin health product “Mycoton” produced from fungi // Advances in chitin science. - 1998. - Vol. 11. - P. 648 – 655;
39. *Боровой А.А., Гнеденко В.Г., Ключникова А.А. и др.* Текущая безопасность объекта «Укрытие» и некоторые прогнозы на будущее // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 10, ч. I. - С. 45 - 58.
40. *Горовой Л. Ф., Косяков В. Н.* Клеточная стенка грибов - оптимальная структура для биосорбции // Биополимеры и клетка. - 1996. - Т. 12, № 4. - С. 49 – 60.
41. *Gorovoj L., Kosyakov V.* Chitin and chitosan biosorbents for radionuclides and heavy metals // Advances in chitin science. - 1997. - Vol. 2. - P. 858 - 863.
42. *Косяков В. Н., Яковлев Н. Г., Велешко И. Е., Горовой Л. Ф.* Сорбция актиноидов на хитиновых сорбентах волокнистой структуры // Радиохимия. - 1997. - Т. 39, № 6. - С.540 – 543.
43. *Takashi Mizuno.* The extraction and Development of Antitumor-Active Polysaccharides from Medicinal Mushrooms in Japan (review) // J. of Medicinal Mushrooms. - 1999. - Vol. 1. - P. 9 – 29.
44. *Моссе И. Б., Кострова Л. Н., Дубовик Б. В. и др.* Влияние меланина на мутагенное действие хронического облучения и адаптивный ответ у мышей // Радиационная биология. Радиозащита. - 1999. - Т. 39, № 2-3. - С. 329 – 333.
45. *Прилуцкий А. И., Земсков В. С., Горовой Л. Ф., Бурдюкова Л. И.* Антибактериальные свойства нового хитинового препарата Микотон // Новые перспективы в исследованиях хитина и хитозана: Материалы пятой конф., Москва - Щелково, 25 - 27 мая 1999 г. - М.: Изд-во ВНИРО, 1999. - С. 181 – 186.
46. *Курченко В.П., Курченко Н.В., Сенюк О.Ф., Горовой Л.Ф.* Перспективы использования меланинов для защиты генома от радиационного и химического повреждения // Парадигмы сучасної

- радіобіології. Радіаційний захист персоналу об'єктів атомної енергетики: Тези доп. - Чорнобиль, 2004. - С. 85 - 86.
47. *Герасько В.Н., Ключников А.А., Корнеев А.А. и др.* Объект "Укрытие". История. Состояние. Перспективы / Под ред. А. А. Ключникова. - Киев: Интерграфика, 1997. - 224 с.
 48. *Модельні і експериментальні дослідження ефективності і контроль стану підкритичності паливо-вміщуючих матеріалів у зонах критмасового ризику: (Звіт по НДР, проміжний № 09/ 13-97) / ПІБ АЕС НАН України. – Чорнобиль, 2004.*
 49. *ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Annals of the ICPR Vol. 24, No. 1-3. – 1994. - P. 482.*
 50. *Lagget P.W., Eckerman K.F., Williams L.R.* Elementary method for implementating complex biokinetic model. *Helth Phys.* 64, N3, Murch 1993. - P.260 – 271.
 51. *Публикация 30 МКРЗ. Пределы поступления радионуклидов для работающих с радиоактивными веществами в открытом виде. - М.: Энергоатомиздат. - 1983. - 60 с.*
 52. *Кларк Р.* Меморандум. Эволюция системы радиационной защиты: обоснование необходимости разработки новых рекомендаций МКРЗ // *Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2003 - Т. 48, № 4. - С. 26 - 37.*
 53. *Материалы Российского государственного медико-дозиметрического регистра // Бюл. «Радиация и риск», 1995, вып. 5.*
 54. *Отчет НЦРМ по НИР №1/98 «Мониторинг, профилактика и коррекция нарушений состояния здоровья персонала, работающего на объекте «Укрытие», 1998.*
 55. *Воробьев В.И., Ковалев Е.Е.* Радиационная безопасность экипажей летательных аппаратов. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
 56. *Рекомендации МКРЗ. Публикация № 60. - М.: Энергоатомиздат, 1994.*
 57. *Демин В.Ф., Голиков В.Я., Иванов Е.В. и др.* Показатель ущерба для нормирования и сравнения риска // *Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2001. - Т. 46, №5. - С. 5 – 15.*
 58. *Стратегія перетворення об'єкта «Укриття». Рішення урядової комісії з питань комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС № 5 від 18 квітня 1997 р. – К., 1997. - С. 16.*
 59. *Итоговый отчет по радиационной безопасности КСК. SIP-K-03-01.000-RSR-003-03, 2003.*
 60. *Отчет SA -305 АЛПАРА анализ доз при строительстве. Консорциум Bechtel International system, Battelle Memorial Institute, Institute Electricik de France, 2003.*
 61. *Сенюк О.Ф., Данилов В.М.* Стратегия и тактика радиологической защиты персонала в связи с предстоящими работами по стабилизации и реорганизации объекта “Укрытие” в радиационно безопасную систему // *Радиационная биология. Радиационная экология. - 1999. - Т. 39, № 2-3. - С. 227 - 237.*
 62. *Сенюк О.Ф.* Протективная фармакокоррекция в радиационной защите человека // *Проблемы Чернобыля. - 1999. - Вып. 5. - С. 391 - 397.*
 63. *Сенюк О.Ф.* Особенности организации медицинского сопровождения работ по стабилизации объекта “Укрытие” и его реорганизации в экологически безопасную систему // *Атомная энергетика и промышленность Украины. – 1999. - №1. - С. 43 – 46.*
 64. *Сенюк О.Ф., Горовой Л.Ф., Данилов В.М.* Радиопротекторы нового поколения для радиационной защиты персонала в условиях современного объекта «Укрытие» // *Проблемы Чернобыля. - 2001. - Вып. 7. - С. 219 - 229.*
 65. *Руководство по сетевому планированию обеспечению готовности медсанчасти и оказанию медицинской помощи на случай возникновения аварийной ситуации на АЭС / Под ред. Г. Н. Матвеева. - М., 1986. - 56 с.*

Поступила в редакцию 27.04.05,
после доработки - 30.08.05.

46 РАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛУ ДІЮЧИХ АЕС І ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ», ІСНУЮЧІ ПРОБЛЕМИ, СТРАТЕГІЯ І ТАКТИКА ЇХ ПОДОЛАННЯ СЬОГОДНІ

О. Ф. Сенюк, В. О. Краснов, В. М. Данілов

Проаналізовано сучасний рівень вирішення проблем радіаційного захисту персоналу діючих АЕС і персоналу, який виконує роботи по стабілізації і реорганізації об'єкта «Укриття» в екологічно безпечну систему. Показано істотні відмінності іонізуючих випромінювань діючих АЕС і об'єкта "Укриття" як за різновидом і потужністю, так і матеріальними носіями. На відміну від АЕС в об'єкті Укриття" практично відсутні n-випромінювання, а γ -випромінюванням притаманні своєрідні просторово-кутові характеристики; джерела внутрішнього опромінення представлені унікальними "гарячими" частинками, які не є характерними для приміщень і викидів АЕС. Обґрунтовано необхідність удосконалення засобів індивідуального захисту органів дихання й використання оператив радиационной защиты ним персоналом АЕС і об'єкта "Укриття" протипроменевих комплексів для захисту як від хронічного опромінення в діапазоні малих доз, так і для випадків гострого опромінення.

46 RADIATION PROTECTION STAFF OF OPERATING NPP AND OBJECT "UKRUTTYA", EXISTENT PROBLEMS, STRATEGY AND TACTIC OF THEIR DECISION TODAY

O. F. Senyuk, V. O. Krasnov, V. M. Danilov

The modern level of decision of problems of radiation protection of operating staff of NPP and staff, wich are working on stabilization and reorganization object «Ukruttya » into the ecologically safe system is analysed. The substantial differences of ionizing radiations of operating NPP and Object “Ukruttya” are shown both by appearance and powers and to the material transmitters. Unlike NPP, the n-radiations are practically absent in Object “Ukruttya”, and γ -radiations original spatially-angular descriptions are had; the sources of internal irradiation are represented unique “hot particles”, which are not characteristic for the premises and troop landings of NPP. The necessity of improvement of individual protect facilities of respiratory organs and use by the operative staff of NPP and Object “Ukruttya” of antirays complexes for protect both from the chronic irradiation in the range of small doses and for the cases of acute irradiation.