

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(28)

2022 г.

Учредитель

Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»

Журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования диссертационных исследований по медицинской и биологической отраслям науки (31.12.2009, протокол 25/1)

Журнал зарегистрирован
Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 30.09.22
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 130 экз.
Усл. печ. л. 16,25. Уч.-изд. л. 9,97.
Зак. 254.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины и
экологии человека»
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в КУП
«Редакция газеты
«Гомельская праўда»
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

Главный редактор, председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., доцент)

Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., профессор, зам. гл. редактора), В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), К.Н. Буздакин (к.т.н., доцент), Н.Г. Власова (д.б.н., профессор, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент), И.В. Веякин (к.б.н., доцент), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко (к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.), С.В. Зыблева (к.м.н., доцент, отв. секретарь), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаяев (к.м.н., доцент), Д.В. Кравченко (к.м.н.), А.Н. Лызинов (д.м.н., профессор), А.В. Макарич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), В.М. Мишура (д.м.н., доцент), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), Э.А. Надьров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), И.П. Ромашевская (к.м.н.), М.Г. Русаленко (к.м.н., доцент), А.П. Саивончик (к.б.н.), А.Е. Силин (к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), И.О. Стома (д.м.н., доцент), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец (к.м.н., доцент)

Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алейникова (д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Д.А. Базыка (д.м.н., профессор, Киев), А.П. Бирюков (д.м.н., профессор, Москва), Е.Л. Богдан (Минск), Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск), М.П. Захарченко (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Л.А. Ильин (д.м.н., академик РАМН, Москва), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Е.Н. Кроткова (к.м.н., доцент, Минск), Н.Г. Кручинский (д.м.н., профессор, Пинск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.Л. Пиневиц (МЗ РБ, Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Д. Тронько (д.м.н., чл.-кор. НАН, акад. НАМН Украины, Киев), А.Л. Усс (д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (к.м.н., доцент, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Адрес редакции 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека», 2022

№ 2(28)

2022

Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

Founder

Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

Journal registration
by the Ministry of information
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

ISSN 2074-2088

Обзоры и проблемные статьи

Ж.М. Козич
Прогностическое значение цитогенетических и молекулярно-генетических изменений при множественной миеломе 6

А.О. Паращенко, М.А. Корнеева, И.А. Семеник, С.Н. Рябцева
Микроглия головного мозга: структурно-функциональная характеристика клеток (обзор литературы) 12

Медико-биологические проблемы

К.Н. Бuzдалкин, Н.Г. Власова, Е.К. Нилова, В.С. Аверин
Дозы облучения населения Республики Беларусь в результате внешних воздействий на АЭС сопредельных государств 20

С.А. Баранов, В.В. Шевляков, С.И. Сычик, В.А. Филонюк, Г.И. Эрм, Е.В. Чернышова, А.В. Буйницкая
Критерии гигиенического нормирования в воздухе рабочей зоны аэрозолей сухих продуктов, содержащих сывороточные белки коровьего молока 27

Н.Г. Власова, В.В. Дробышевская, Е.А. Дрозд, А.М. Бuzдалкина, Г.Н. Евтушкова
Дозы облучения населения Гомельской области от медицинской рентгенодиагностики до и в начале пандемии COVID-19 35

И.Н. Коляда, А.М. Островский
Анализ рождаемости населения Гомельской области за 2009-2019 гг. 41

Клиническая медицина

В.И. Бронский, С.В. Толканец, К.В. Бронская, Е.В. Гут, Е.Н. Гаврилюк
Социально-психологические характеристики противников вакцинации в период новой коронавирусной инфекции 47

Reviews and problem articles

Zh. M. Kozich
Prognostic significance of cytogenetic and molecular genetic rearrangements in multiple myeloma

A.O. Parashchenko, M.A. Korneeva, I.A. Si-amionik, S.N. Ryabtseva
Microglia of the brain: structural and functional characteristics of cells (literature review)

Medical-biological problems

K.N. Buzdalkin, N.G. Vlasova, E.K. Nilova, V.S. Averin
Radiation doses of belarussian population as a result of hostilities at nuclear power plants of neighboring states

S.A. Baranov, V.V. Shevlyakov, S.I. Sychyk, V.A. Filanyuk, G.I. Erm, E.V. Chernyshova, A.V. Buinitskaya
Criteria for hygienic standarding in the air of the working area of aerosols of dry products containing whey proteins of cow's milk

N.G. Vlasova, V.V. Drobyshevskaya, E.A. Drozd, A.M. Buzdalkina, G.N. Evtushkova
Effective exposure dose to the population of the Gomel region from medical X-ray diagnosis before and in the beginning of the COVID-19 pandemic

I.N. Koliada, A.M. Ostrovsky
Analysis of the birth rate population of the Gomel region for 2009-2019

Clinical medicine

V.I. Bronskiy, S.V. Tolkanets, K.V. Bronskaya, E.V. Gut, E.N. Gavrilyuk
Socio-psychological characteristics of antivaxxers during the period of a new coronavirus infection

А.В. Величко, А.А. Чулков, Ю.И. Ярец, И.Г. Савастеева, В.М. Мицура Метод прогнозирования развития субклинического синдрома Кушинга у пациентов с инциденталомами надпочечников	53	A.V. Velichko, A.A. Chulkov, Yu.I. Yarets, I.G. Savasteeva, V.M. Mitsura Method for predicting the development of subclinical Cushing's syndrome in patients with adrenal incidentalomas	
Н.И. Гребень, Е.Л. Малец, С.Н. Рябцева, А.А. Порадовский, Е.Ю. Сташкевич, И.А. Семёник Ультраструктурные особенности стремечка у пациентов с отосклерозом	60	N. Greben, A. Malets, S. Ryabceva, A. Poradovsky, H. Stashkevich, I. Siamionik Ultrastructural features of the stapes in patients with otosclerosis	
А.В. Жарикова, М.А. Шафранская, Н.В. Лысенкова, Л.С. Старостенко Социо-психологические особенности восприятия проблемы табакокурения	66	A.V. Zharikova, M.A. Shafranskaya, N.V. Lysenkova, L.S. Starostenko Socio-psychological features of perception of problems of smoking	
С.Л. Зыблев, С.В. Зыблева, Т.С. Петренко, Б.О. Кабешев Оценка окислительного стресса при определении вероятности развития ранней дисфункции почечного трансплантата	72	S.L. Zyblev, S.V. Zybleva, T.S. Petrenko, B.O. Kabeshev Assessment of oxidative stress in determining the probability of developing early renal allograft dysfunction	
Н.В. Карлович, Т.В. Мохорт Результаты ультрасонографии паращитовидных желез у пациентов с вторичным гиперпаратиреозом на фоне хронической болезни почек	78	N.V. Karlovich, T.V. Mokhort Results of ultrasonography of the parathyroid glands in patients with secondary hyperparathyroidism associated with chronic kidney disease	
О.П. Логинова, Н.И. Шевченко, И.В. Вейлкин, О.А. Давыдова Эпидемиологические аспекты и результаты цитологического скрининга рака шейки матки	87	O.P. Lohinava, N.I. Shevchenko, I.V. Veyalkin, O.A. Davydava Epidemiological aspects and results of cytological screening for cervical cancer	
Е.А. Полякова, С.А. Берестень, М.В. Стёганцева, А.С. Старовойтова, А.Н. Купчинская, И.Е. Гурьянова, С.М. Мезян, М.В. Белевцев Диагностика нарушений иммунного механизма у недоношенных новорожденных с использованием маркеров Т- и В-клеточного неогенеза (TREC и KREC) и субпопуляций Т- и В-лимфоцитов	93	E.A. Polyakova, S.A. Beresten, M.V. Stegantseva, A.S. Starovoitova, A.N. Kupchinskaya, I.E. Guryanova, S.M. Mezyan, M.V. Belevtsev Diagnosis of immune mechanism disorders in preterm infants using markers of T- and B-cell neogenesis (TREC and KREC) and subpopulations of T- and B-lymphocytes	
Т.В. Рябцева, А.Д. Таганович, Д.А. Макаревич Связывание и удаление из плазмы крови ИЛ-6 с помощью синтетического олигопептида	99	T.V. Ryabtseva, A.D. Taganovich, D.A. Makarevich The using of synthetic oligopeptide for binding and removal of IL-6 from blood plasma	

А.Е. Силин, А.А. Силина, Я.Л. Навменова
Особенности частот аллелей, генотипов и специфических гаплотипов по генам HLA-DRB1, HLA-DQA1 и HLA-DQB1 в группе пациентов с сахарным диабетом 1 типа

105

Д.А. Чечетин, А.В. Макарьчик
Динамика изменений силовой выносливости мышц туловища у детей в процессе коррекции нарушений костно-мышечного взаимоотношения позвоночного столба

114

Обмен опытом

К.А. Веренич, В.Ф. Миненко
Современные подходы к оценке доз облучения пациентов при проведении диагностических рентгенологических исследований

122

A.E. Silin, A.A. Silina, Ya.L. Navmenova
Features of the frequencies of alleles, genotypes and specific haplotypes for the HLA-DRB1, HLA-DQA1 and HLA-DQB1 genes in the group of patients with type 1 diabetes mellitus

D.A. Chechetin, A.V. Makarchyk
Dynamics of changes in the strength endurance of the trunk muscles of children during the correction of disorders of musculoskeletal relationship of vertebral column

Experience exchange

K. A. Viarenich, V. F. Minenko
Modern approaches to estimation of radiation doses to patients during diagnostic radiographic examinations

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АЭС СОПРЕДЕЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВ

¹ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель, Беларусь;

²УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь;

³ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности»

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь;

⁴УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Беларусь

Вероятность возникновения негативных радиационных последствий, обусловленных проведением боевых операций, может превышать уровни рисков, учтенных в проектных решениях АЭС. Возможны разрушение защитных барьеров АЭС и выброс в окружающую среду ядерного топлива, продуктов его деления и активированных материалов в газообразном состоянии. Территория Республики Беларусь включена в зоны расширенного планирования действующих АЭС сопредельных государств (Смоленской АЭС и Ровенской АЭС), в результате боевых действий на которых возможно превышение действующих в Республике Беларусь критериев реагирования для защитных действий, направленных на снижение риска стохастических эффектов (50 мЗв за 7 дней при облучении щитовидной железы). В этой связи в острую фазу на белорусском сегменте радиоактивного следа в случае боевых действий на АЭС может быть рекомендован как прием препаратов стабильного йода, так и признаны целесообразными и другие защитные мероприятия. В случае взрывов в хранилищах отработанного ядерного топлива основными дозообразующими радионуклидами являются ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, обладающие высокими миграционными свойствами в пищевой цепочке. При этом существенно повышается вероятность загрязнения продуктов питания свыше установленных нормативов, в первую очередь – ⁹⁰Sr.

Ключевые слова: радионуклид, доза облучения, ингаляция, боевые действия, атомная электростанция

Введение

После общественно-политических событий на юго-востоке Украины в 2014 году были опубликованы материалы о возможных дозах облучения населения Республики Беларусь в результате военных операций на АЭС сопредельных государств [1]. При боевых действиях возможно разрушение защитных барьеров АЭС и выброс в окружающую среду ядерного топлива, продуктов его деления и активированных материалов в газообразном состоянии [2].

Исследования проводились при подготовке предложений в план защитных мероприятий при радиационной аварии на Белорусской атомной электростанции (внешний

аварийный план), возникшей при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии, в том числе на ядерной установке и (или) в пункте хранения, расположенных за пределами Республики Беларусь на расстоянии 100 км от государственной границы Республики Беларусь, в рамках научно-исследовательской работы, выполненной в рамках Государственной программы «Научное сопровождение развития атомной энергетики в Республике Беларусь на 2009-2010 годы и на период до 2020 года».

В марте 2022 года радиационные риски значительно возросли. В частности, на момент подготовки статьи неоднократно отключалось электроснабжение хранилищ

отработанного ядерного топлива, расположенных в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, а боевые действия велись у ограждения промплощадки Запорожской АЭС.

Указанные события обуславливают проведение оперативных оценок развития возможных негативных радиационных последствий с целью принятия, в случае необходимости, превентивных защитных мер, направленных на обеспечение радиационной безопасности как населения, так и окружающей среды на территории Республики Беларусь.

Результаты исследований, представленные в отчётах о НИР за 2014 год, пересмотрены с учетом последствий применения в районах размещения АЭС более мощных средств повреждения радиационно опасных объектов.

Цель исследований – оценить дозы облучения населения Республики Беларусь в результате боевых/террористических действий на территории АЭС сопредельных государств.

Материал и методы исследования

При анализе состояния АЭС использовалась информация, подготовленная до начала российско-украинского конфликта [3]. Оценки ожидаемых доз облучения населения выполнены на основе информации о мощности, продолжительности и составе возможных выбросов радионуклидов в атмосферу. Исходными данными являлись сведения о типах реакторов, установленных на АЭС сопредельных государств, их мощности, продолжительности эксплуатации и защите ядерных реакторов, а также доступной информации о хранилищах отработанного ядерного топлива.

В украинском секторе зоны отчуждения расположены пять видов радиационно опасных объектов:

- укрытие разрушенного 4-го энергоблока ЧАЭС;
- хранилища отработавшего ядерного топлива;
- хранилища ядерных отходов и материалов;

- пункты захоронения радиоактивных отходов;
- пункты временной локализации радиоактивных отходов, включая отстойники загрязнённой техники.

Топливо аварийного 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС в виде кориума (застывшей смеси с разрушенными и расплавленными конструкциями реактора, бетона, песка, свинца и т.д.) до настоящего времени находится в объекте «Укрытие», дополнительно накрытым аркой от природных воздействий.

За период эксплуатации Чернобыльской АЭС на ее площадке накоплено более 21 тысячи отработавших тепловыделяющих сборок. На площадке АЭС три хранилища отработанного ядерного топлива. Во временном хранилище отработанного ядерного топлива (ХОЯТ-1) находятся тепловыделяющие сборки с остальных трех блоков Чернобыльской АЭС. Сборки в ХОЯТ-1 хранятся в воде 22 года, их температура должна была достичь уровня, приемлемого для сухого хранения. Часть указанныхборок может находиться в более надёжном и современном сухом хранилище отработанного ядерного топлива ХОЯТ-2. Кроме того, в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС формально введено в эксплуатацию наземное сухое централизованное хранилище отработанного ядерного топлива контейнерного типа на 16 529 отработавших тепловыделяющихборок, в котором могут храниться высокоактивные сборки с других украинских АЭС с реакторами типа ВВЭР.

Для обеспечения относительно безопасных условий работ на разрушенном энергоблоке и на прилегающей к нему территории в 1986-1987 гг. в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на расстоянии 0,5-15 км от реактора были созданы временные хранилища радиоактивных отходов. Данные сооружения создавались без надлежащей проектной документации и не были оборудованы необходимыми конструктивными элементами, поэтому они не соответствуют современным требованиям к обеспечению безопасности при за-

хоронении радиоактивных отходов. К настоящему моменту указанные хранилища соответствуют техническим требованиям безопасности не в полной мере. Объем радиоактивных материалов, расположенных в зоне отчуждения ЧАЭС, около 3 млн. м³. Для дезактивации и дальнейшего хранения радиоактивных отходов, рассредоточенных по территории чернобыльской зоны отчуждения, построен комплекс для хранения ядерных отходов «Вектор», включающий хранилище для захоронения отходов в железобетонных контейнерах (ТРО-1) и модульное хранилище для захоронения навалом (ТРО-2).

На Запорожской и Ровенской АЭС установлены реакторы типа ВВЭР различных поколений и отличающиеся уровнями защиты. Собственное сухое хранилище имеется на Запорожской АЭС, в районе которой велись боевые действия.

При оценке ожидаемых доз использовалось математическое моделирование последствий аварий на предприятиях атомной энергетики. Применялась методология, рекомендованная МАГАТЭ для расчёта распространения радиоактивной примеси, объёмной активности приземного слоя атмосферы и плотности загрязнения территории [6-9].

Для моделирования переноса радионуклидов в атмосфере были выбраны сценарии метеоусловий, при которых дозы облучения населения Беларуси будут близки к максимально возможным. В расчетах использовались обычные в таких случаях допущения, которые позволяют научно обосновать верхние уровни доз облучения населения в результате возможной радиационной аварии [10-13].

Результаты исследования

Боевые действия могут привести к разрушению защитных оболочек и неядерному взрыву в корпусе или шахте реакторной установки, бассейнах выдержки и хранилищах отработанного или свежего топлива. В результате взрыва могут произойти события, связанные с изменением взаимного расположения и нарушением целостности

топливных сборок и оболочек ТВЭЛ, извлечением органов регулирования на мощности, потерей теплоносителя и разрушением системы аварийного охлаждения. Перечисленные нарушения в совокупности могут привести к значительному выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду и к возникновению цепной реакции (аварийной вспышке мощности) как в реакторной установке, так и в системах хранения и обращения с ядерным топливом.

В процессе работы реактора АЭС суммарная активность делящихся материалов возрастает в миллионы раз. В реакторе АЭС из уранового топлива образуются посредством деления атомов более 300 различных радионуклидов. Выброс из 4-го блока ЧАЭС в 1986 году составил $1,4 \cdot 10^{19}$ Бк, в том числе: $^{131}\text{I} - 1,8 \cdot 10^{18}$ Бк; $^{137}\text{Cs} - 0,085 \cdot 10^{18}$ Бк; $^{90}\text{Sr} - 0,01 \cdot 10^{18}$ Бк; плутония – $0,003 \cdot 10^{18}$ Бк [4]. На долю радиоактивных инертных газов пришлось около 50% общей активности выбросов. Ожидается, что в случае разрушения защитных оболочек и/или корпуса реактора радионуклиды будут представлены в форме частиц аэрозоля, за исключением радиоактивных благородных газов и газообразных форм йода.

При расчётах учитывалось, что во время разрушения IV энергоблока Чернобыльской АЭС кратковременно выделилась энергия, эквивалентная 4 тоннам тринитротолуола [5]. Продолжительность выброса радионуклидов в окружающую среду через разрушения защитных оболочек реакторов, с учётом пожаров, обычно сопровождающих наземные взрывы, принималась 4 часа. Значения чернобыльских аварийных выбросов 1986 года были приняты в качестве референтных. В ряде государств при разработке планов аварийного реагирования последствия Чернобыльской катастрофы также рассматриваются в качестве реперных. Например, в Норвегии при оценке последствий аварии на Ленинградской АЭС.

Энергия, выделяющаяся при взрыве боезаряда, по порядку величины близка к энергии парогазовой смеси чернобыльско-

го выброса 1986 года. Активность радиоактивных материалов, которая может быть выброшена из гермозон АЭС в результате указанных внешних воздействий, оценивается в 1-5% от запаса, в зависимости от количества отработанного топлива, хранящихся в бассейнах выгрузки.

Наибольшую радиационную опасность для населения Республики Беларусь представляют боевые действия на Ровенской АЭС (РАЭС) Украины и Смоленской АЭС (САЭС) Российской Федерации.

Удалённость Ровенской АЭС (РАЭС) от белорусской границы – 70 км. На энергоблоках РАЭС с реакторами ВВЭР-440 нет гермооболочек в современном смысле. В бассейнах выдержки РАЭС хранится несколько сотен тонн отработанного топлива. 100-км зона станции включает территории 5 районов Брестской области. В этой зоне в результате военных действий или терак-

та на РАЭС эквивалентные дозы облучения щитовидной железы взрослых от ингаляционного поступления радиоактивного йода могут составить за 7 дней от 100 мЗв, рисунок 1. Приведённые результаты соответствуют аварийному выбросу РАЭС $3,6 \cdot 10^{16}$ Бк ^{131}I , что в 50 раз меньше Чернобыльского.

Ядерные реакторы типа РБМК 1-го и 2-го энергоблока Смоленской АЭС (САЭС) того же поколения, что и четвёртый энергоблок Чернобыльской АЭС. На САЭС, в связи с длительным сроком эксплуатации реакторов, в бассейнах выдержки должно храниться значительно, на два порядка, больше отработанного топлива, чем было в Южном бассейне выдержки кассет, расположенном в четвёртом энергоблоке Чернобыльской АЭС (15 тонн). На момент разработки реакторов серии РБМК правила по безопасности были несовершенны, что потребовало в дальнейшем серьёзной мо-

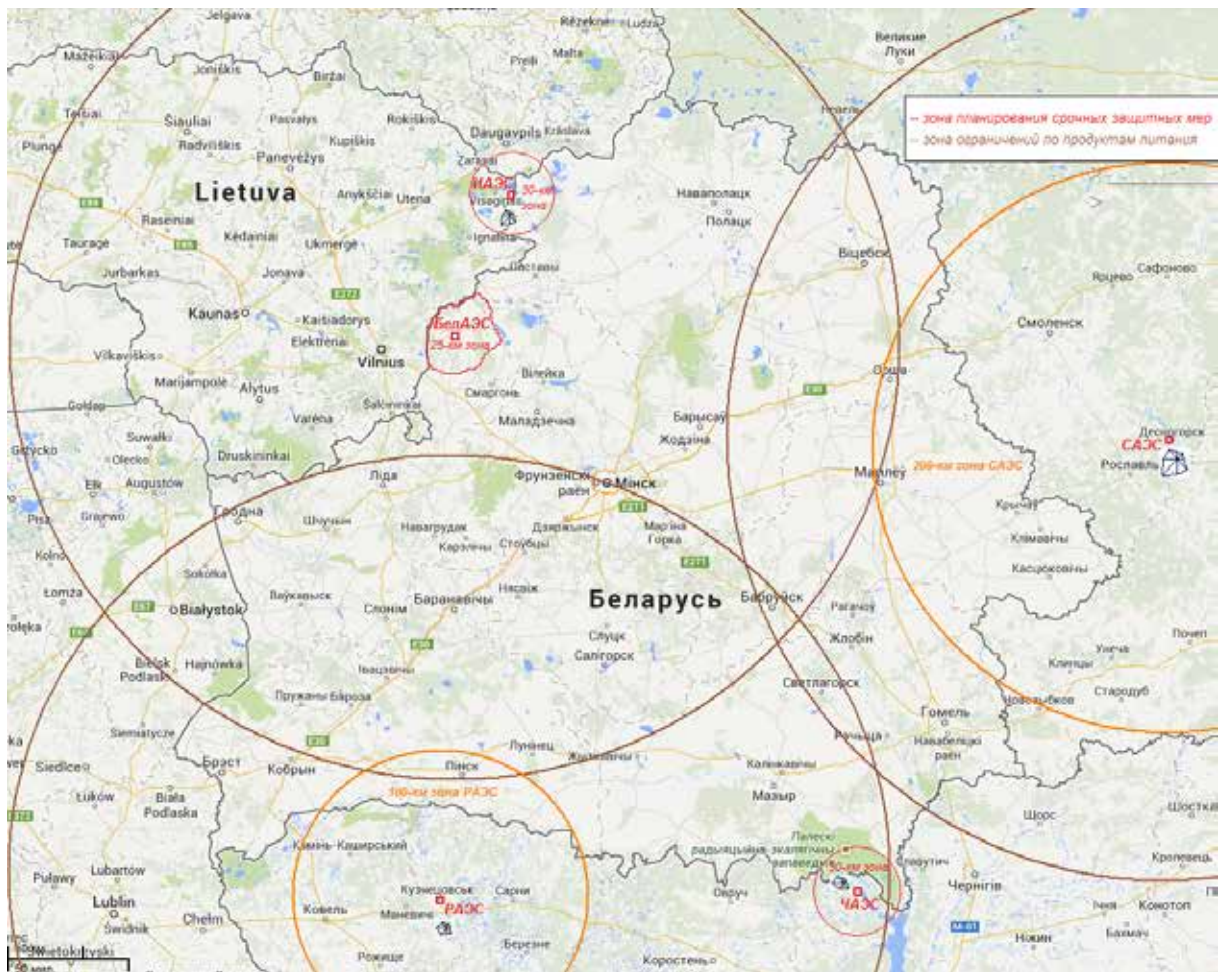


Рисунок 1 – 100, 200 и 300 км зоны АЭС сопредельных государств

дернизации этих энергоблоков. С учётом внесённых конструкционных изменений в качестве референтного выброса Смоленской АЭС в результате внешнего воздействия предлагается принять 10^{17} Бк ^{131}I , что в 20 раз меньше чернобыльского выброса.

Удалённость САЭС от границы с Республикой Беларусь – 75 км. В результате взрыва след радиоактивного облака может распространиться на расстояние до 200 км. Ширина следа – порядка 10 км. Время от момента взрыва до пересечения радиоактивным облаком границы Республики Беларусь оценивается в 2 часа.

При указанных выше начальных условиях ожидаемые эквивалентные дозы облучения щитовидной железы взрослых от ингаляционного поступления радиоактивного йода за 7 дней оцениваются до 650 мЗв на границе Республики Беларусь. Общая эффективная доза на организм, включая дозы от облака и в течение семи дней от выпадений, и от полувекковой ингаляции радионуклидов, значительно, на порядок ниже доз облучения щитовидной железы. И ниже общих критериев реагирования для защитных действий, планируемых как в целях предотвращения детерминированных эффектов, так и снижения риска стохастических эффектов [14].

На территории Республики Беларусь в 200-км зону САЭС входит ряд городов с населением более 20 тыс. чел. В результате аварии на САЭС не исключается выведение из хозяйственного оборота до 50 тыс. га земель.

На белорусском сегменте радиоактивного следа в случае боевых действий на АЭС может быть рекомендован прием препаратов стабильного йода (йодная профилактика). В острую фазу на оси радиоактивного следа могут быть признаны целесообразными и другие защитные мероприятия [15].

Наибольшие активности, и, соответственно, радиационные риски в случае боевых действий в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС от выбросов из объекта «Укрытие» хранилищ отработанного ядерного топлива.

В случае разрушения объекта «Укрытие» и взрыва в коридоре может произойти выброс радиоактивных веществ с их трансграничным переносом на территорию Республики Беларусь. Радиоактивный йод и инертные газы в хранилищах и объекте «Укрытие» практически отсутствуют. Поэтому, в случае внешнего воздействия на эти объекты, наибольшую опасность для населения Республики Беларусь представляет выброс ^{90}Sr и ^{137}Cs . В составе топливных частиц могут присутствовать трансураниевые элементы.

При взрывах на хранилищах отработанного ядерного топлива также возможны значительные выбросы радиоактивных материалов в нижние слои атмосферы. При применении боеприпасов и значительном внешнем динамическом воздействии на модуль хранения возможен выброс радионуклидов из разгерметизированных контейнеров. В трансграничной оценке рассматривались разгерметизация 100% всех ТВЭЛ в контейнере, вмещающем 31 ТВС ВВЭР-1000, и утечка радиоактивных веществ через пробочину в барьере герметичности контейнера.

Последствия взрывов на хранилищах и объекте «Укрытие», расположенных в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, могут в радиусе 30 км сформировать эффективные дозы облучения населения, превышающие 1 мЗв. На основной части белорусского сектора территории 30-км зоны расположено Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский радиационно-экологический заповедник». Населённые пункты Гдзень и Александровка находятся на расстоянии 23 и 31 км от хранилища, соответственно, в восточном и северо-восточном направлении.

Ввиду отсутствия в выбросах из хранилищ радиоактивного йода, инертных радиоактивных газов и других короткоживущих радионуклидов, превышения установленных пределов аварийного облучения [14] в указанных населённых пунктах не ожидается.

Следует учитывать и пероральный путь радиационного воздействия. Основ-

ными загрязнителями в случае взрывов в хранилищах ожидаются, в частности, ^{137}Cs и ^{90}Sr , обладающие высокими миграционными свойствами в пищевой цепочке. Как показал опыт Чернобыльской катастрофы 1986 года, в долгосрочном плане именно загрязнение сельскохозяйственной продукции является наиболее тяжёлым последствием. С учётом скорости ветра и величины выброса, не стоит исключать из списка последствий взрыва на хранилищах и вероятность загрязнения сельскохозяйственной продукции свыше установленных нормативов, в первую очередь – ^{90}Sr .

Угрозы для населения Республики Беларусь, создаваемые хранилищами радиоактивных отходов, расположенными за пределами республики, значительно ниже, чем от АЭС и хранилищ отработанного ядерного топлива, размещённых на площадках данных АЭС. Ингаляционное поступление радионуклидов в организм жителей Беларуси, в результате подъема радионуклидов при пожарах и передвижении тяжёлой техники в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, обуславливает дозы облучения пренебрежительно низких значений [11-14]. Мероприятия по радиационной защите населения в последнем случае не потребуются.

Заключение

Вероятность возникновения негативных радиационных последствий, обусловленных проведением боевых операций, может превышать уровни рисков, учтенных в проектных решениях АЭС. Возможны разрушение защитных барьеров АЭС и выброс в окружающую среду ядерного топлива, продуктов его деления и активированных материалов в газообразном состоянии.

Территория Республики Беларусь включена в зоны расширенного планирования действующих АЭС сопредельных государств (Смоленской АЭС и Ровенской АЭС). Наибольшие радиационные угрозы Республике Беларусь исходят от Смоленской и Ровенской АЭС. В результате боевых действий на атомных электростанциях сопредельных государств возможно превы-

шение действующих в Республике Беларусь критериев реагирования для защитных действий, направленных на снижение риска стохастических эффектов (50 мЗв за 7 дней при облучении щитовидной железы).

В случае взрывов в хранилищах отработанного ядерного топлива основными дозообразующими радионуклидами являются ^{137}Cs и ^{90}Sr , обладающие высокими миграционными свойствами в пищевой цепочке. При этом существенно повышается вероятность загрязнения сельскохозяйственной продукции свыше установленных нормативов, в первую очередь – ^{90}Sr .

В результате подъема в атмосферу радионуклидов при пожарах и передвижении тяжёлой техники в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС ингаляционное поступление радионуклидов в организм жителей Беларуси обуславливает дозы облучения пренебрежительно низких значений.

Библиографический указатель

1. Буздалкин, К.Н. Ожидаемые дозы облучения населения Республики Беларусь в результате военных действий и терактов на АЭС сопредельных государств / Сборник докладов Международной научной конференции «Радиобиология: антропогенные излучения». – Гомель: Институт радиобиологии НАН РБ, 2014. – С.24-27.
2. Буздалкин, К.Н. Угрозы от АЭС сопредельных государств Республики Беларусь / К.Н. Буздалкин // Современные проблемы радиационной медицины: от науки к практике: сборник материалов междунауч. практич. конф., Гомель, 11 апреля 2014 г./ ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», редкол.: А.В.Рожко [и др.]. – Гомель, 2014. – С. 35-38.
3. Электронный ресурс https://pikabu.ru/story/khranilishcha_chernobyilskoy_zonyi_ili_pochemu_khoyat_ne_mogilnik_4269920. Дата доступа: 14.03.2022.
4. 20 лет Чернобыльской катастрофы: взгляд в будущее. Национальный доклад Украины // Национальный доклад Украины // Европейский центр техногенной безопасности (TESEC). – К.: Атика, 2006. – 233 с.
5. Израэль, Ю.А. Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на ЧАЭС / Ю.А. Израэль. – М.: Комтехпринт, 2006. – 28 с.
6. Dispersion of radioactive material in air and water and consideration of population distribution in site evaluation for nuclear power plants. Safety standards series No. NS-G-3.2. – Vienna: IAEA, 2002. – 32 p.

7. Аверин, В.С. Применение геоинформационных технологий для оценки радиационного воздействия штатных и проектных аварийных выбросов / В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова // Вестник Командно-инженерного института МЧС РБ. – 2010. – № 2(12). – С. 105-109.

8. Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions during a Reactor Accident. IAEA-TECDOC-955 / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 1997. – 259 p.

9. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment / IAEA Safety Reports Series No.19. Vienna: IAEA, 2001. – 229 p.

10. Буздалкин, К.Н. Метод оперативной оценки доз облучения персонала, ожидаемых в результате ингаляции радионуклидов при тушении пожаров / К.Н. Буздалкин // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2019. – № 1(21). – С. 36-42.

11. Буздалкин, К.Н. Ингаляционное поступление трансурановых элементов в организм при чрезвычайных ситуациях в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / К.Н. Буздалкин, В.Н. Бортов-

ский // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – СПб, 2019. – № 3. – С. 59-65.

12. Буздалкин К.Н. Облучение персонала в результате ингаляционного поступления радионуклидов при пожарах в зонах отчуждения и отселения Чернобыльской АЭС / К.Н. Буздалкин // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2018. – № 1(19). – С. 25-32.

13. Буздалкин, К.Н. Мониторинг ожидаемых доз облучения спасателей в случаях пожаров на территории радиоактивного загрязнения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова, А.Б. Кухтевич // Чрезв. ситуации: образование и наука. – 2015. – № 10(2). – С. 61-64.

14. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиен. норматив: утв. постановлением Минздрава Респ. Беларусь, 28.12.2012 г. № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. 2/26850.

15. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident. Publication 146 / M. Kai [et al.] // Annals of the ICRP. –2020. – Vol.49, № 4. – P 5-133.

K.N. Buzdalkin, N.G. Vlasova, E.K. Nilova, V.S. Averin

RADIATION DOSES OF BELARUSSIAN POPULATION AS A RESULT OF HOSTILITIES AT NUCLEAR POWER PLANTS OF NEIGHBORING STATES

The risks from military operations significantly exceed the risks inherent in the design decisions of the NPP. It is possible to destroy the protective barriers of nuclear power plants and release into the environment of nuclear fuel, its fission products and activated materials in a gaseous state. The radiation threats to the Republic of Belarus come from the Smolensk and Rivne nuclear power plants. As a result of hostilities at nuclear power plants of neighboring states, it is possible to exceed the response criterion for protective actions aimed at reducing the risk of stochastic effects (50 mSv in 7 days with thyroid irradiation). The use of stable iodine may be recommended in the Belarusian segment of the radioactive trace in the event of hostilities at a nuclear power plant. Other protective measures may be deemed appropriate in the acute phase on the axis of the radioactive trace. In the case of explosions in spent nuclear fuel storage facilities, the main dose-forming radionuclides are ^{137}Cs and ^{90}Sr , which have high migration properties in the food chain. There is a high probability of contamination of agricultural products in excess of the established standards, first of all – ^{90}Sr . As a result of the rise of radionuclides in air during fires and the movement of heavy equipment in the exclusion zone of the Chernobyl NPP, the inhalation intake of radionuclides into the body of residents of Belarus is negligible. It is necessary to support the proposal of the Minister of Energy of Ukraine on the creation of 30-km demilitarized zones around nuclear power facilities.

Key words: *radionuclide, radiation dose, inhalation, hostilities, nuclear power plant*

Поступила 16.03.22