

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(9)

2013 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)
- Перечень журналов и изданий ВАК Минобрнауки РФ (редакция май 2012г.)

Журнал зарегистрирован

Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 29.04.13.
Формат 60×90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 211 экз.
Усл. печ. л. 18,9. Уч.-изд. л. 16,2.
Зак. 1178.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины и экологии
человека»
ЛИ № 02330/619 от 3.01.2007 г.,
продлена до 03.01.2017

Отпечатано в Филиале БОРБИЦ
РНИУП «Институт радиологии».
220112, г. Минск,
ул. Шпилевского, 59, помещение 7Н

ISSN 2074-2088

Главный редактор

А.В. Рожко (д.м.н., доцент)

Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., зам. гл. редактора), В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), Ю.В. Висенберг (к.б.н., отв. секретарь), Н.Г. Власова (к.б.н., доцент), А.В. Величко (к.м.н., доцент), В.В. Евсеенко (к.п.с.н.), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаев (к.м.н.), А.Н. Лызииков (д.м.н., профессор), А.В. Макарчик (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н.), М.Г. Русаленко (к.м.н.), А.Е. Силин (к.б.н.), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), О.В. Черныш (к.м.н.), А.Н. Цуканов (к.м.н.), Н.И. Шевченко (к.б.н.)

Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), 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), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), Ю.Е. Демидчик (д.м.н., член-корреспондент НАН РБ, Минск), В.И. Жарко (министр здравоохранения Республика Беларусь, Минск), М.П. Захарченко (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Л.А. Ильин (д.м.н., академик РАМН, Москва), Я.Э. Кенигсберг (д.б.н., профессор, Минск), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., Минск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.Л. Пиневиц (Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), В.П. Сытый (д.м.н., профессор, Минск), Н.Д. Тронько (д.м.н., профессор, Киев), В.П. Филонов (д.м.н., профессор), В.А. Филонюк (к.м.н., доцент, Минск), А.Ф. Цыб (д.м.н., академик РАМН, Обнинск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Е. Шевчук (к.м.н., Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Адрес редакции

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

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический
центр радиационной медицины и
экологии человека», 2013

№ 1(9)

2013

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

- А.Н. Котеров, А.П. Бирюков**
Неоднозначность связи между повышением уровня цитогенетических повреждений и риском развития рака 6
- А.С. Подгорная, Т.С. Дивакова**
Современные технологии в лечении меноррагий у женщин 23
- А.Ф. Цыб, Е.В. Абакушина, Д.Н. Абакушин, Ю.С. Романко**
Ионизирующее излучение как фактор риска развития лучевой катаракты 34

Медико-биологические проблемы

- К.Н. Апсаликов, Т.Ж. Мулдагалиев, Т.И. Белихина, З.А. Танатова, Л.Б. Кенжина**
Анализ и ретроспективная оценка результатов цитогенетических обследований населения Казахстана, подвергавшегося радиационному воздействию в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, и их потомков 42
- Н.Г. Власова**
Апробация алгоритма расчета индивидуализированных накопленных доз внутреннего облучения включенных в Государственный регистр лиц, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий 50
- А.С. Горячева, А.А. Лузянина, О.С. Изместьева, Л.П. Жаворонков, В.И. Дейгин**
Изучение механизмов регуляции начальных этапов гемопоэза трипептидом – dAla-dGlu-(dTrp)-OH 56
- Н.Н. Казачёнок, И.Я. Попова, В.А. Костюченко, В.С. Мельников, Г.В. Полянчикова, Ю.П. Тихова, К.Г. Коновалов, Г.Б. Россинская, А.И. Копелов**
Современная радиоэкологическая обстановка и источники радиоактивного загрязнения на реке Теча 63

Reviews and problem articles

- A.N. Koterov, A.P. Biryukov**
Ambiguous relationship between elevated levels of cytogenetic damages and cancer risk 6
- A.S. Podgornaya, T.S. Divakova**
Modern technologies in the treatment of menorrhagia in women 23
- A.F. Tsyb, E.V. Abakushina, D.N. Abakushin, Yu.S. Romanko**
Radiation as risk factor of Development the Radiation-induced Cataract 34

Medical-biological problems

- K.N. Apsalikov, T.J. Muldagaliev, T.I. Belikhina, Z.A. Tanatova, L.B. Kenzhina**
Retrospective analysis and evaluation of the results of cytogenetic studies of Kazakhstan's population has been subjected to radiation and their descendants, as a result of nuclear tests at the Semipalatinsk test site 42
- N.G. Vlasova**
Approval of algorithm for calculation of individualized accumulated internal doses at persons engaged in the State registry of the Chernobyl affected people 50
- A.S. Goryacheva, A.A. Luzyanina, O. S. Izmetieva, L. P. Zhavoronkov, V.I. Deigin**
The studying of the mechanism of regulation of the initial stages of hematopoiesis by tripeptide – dAla-dGlu-(dTrp)-OH 56
- N.N. Kazachonok, I.Y. Popova, V.A. Kostyuchenko, V. Melnikov, G.V. Polyanchikova, Y.P. Tihova, K.G. Kononov, G.B. Rossinskaya, A.I. Kopelov**
Modern radioecological situation and sources of radioactive contamination in the river Techa 63

В.В. Кляус
Воздействие на население инновационных ядерных энергетических систем в режиме нормальной эксплуатации 71

Е.Р. Ляпунова, Л.Н. Комарова
Изучение генетической нестабильности популяции *Chlorella vulgaris* после действия ионизирующего излучения разного качества 77

Н.П. Мишаева, В.А. Горбунов, А.Н. Алексеев
Влияние тяжелых металлов на биологию иксодовых клещей и их зараженность возбудителями природно-очаговых инфекций 83

Клиническая медицина

В.А. Доманцевич
Ультразвуковая диагностика адгезивного капсулита плечевого сустава 88

А.В. Жарикова
Неврологические и метаболические нарушения при гипотиреозе 94

О.А. Котова, И.А. Байкова, О.А. Теслова, О.А. Иванцов
Тревожно-депрессивные реакции и ощущение безнадежности у пациентов с различной давностью спинальной травмы 103

Т.Ж. Мулдагалиев, Е.Т. Масалимов, Р.Т. Болеуханова, Ж.К. Жагиппарова
Состояние вегетативного гомеостата среди экспонированного радиацией населения Восточно-Казахстанской области и их потомков в отдаленном периоде после формирования доз облучения 109

Г.Д. Панасюк, М.Л. Лушик
Особенности аутоиммунного тиреоидита у детей Гомельской области 116

О.Н. Шишко, Т.В. Мохорт, И.В. Буко, Е.Э. Константинова, Н.Л. Цапаева
Изменения системы глутатиона и микроциркуляторного русла у пациентов с нарушениями углеводного обмена 122

V.V. Kliaus
Impact on the population of innovative nuclear energy systems under normal operation

E.R. Lyapunova, L.N. Komarova
Study of genetic instability of *Chlorella vulgaris* population after effect of ionizing radiation of different quality

N.P. Mishaeva, V.A. Gorbunov, A.N. Alekseev
Influence of heavy metals on the biology of ixodid ticks and their infection pathogens of natural focal infections Nations

Clinical medicine

V.A. Domantsevich
Ultrasound diagnostics of adhesive capsulitis of the shoulder joint

A.V. Zharikova
Neurological and metabolic disorders in hypothyroidism

O.A. Kotova, I.A. Baykova, O.A. Teslova, O.A. Ivantsov
Anxiety, depression and hopelessness in patients with spinal injury of various durations

T.J. Muldagaliev, E.T. Masalimov, R.T. Boleuhanova, Z.K. Zhagipparova
Condition of vegetative system among the population of the East Kazakhstan area exhibited by radiation and their descendants in the remote period after formation of doses of radiation

G.D. Panasyuk, M.L. Luschik
Features autoimmunnygo tiroidita children from Gomel region

O.N. Shyshko, T.V. Mokhort, I.V. Buko, E.E. Konstantinova, N.L. Tsapaeva
Changes in glutathione system and microcirculation in patients with prediabetes and type 2 diabetes

Обмен опытом

- Г.А. Романова**
Эффективность многолетнего скрининга заболеваний у населения Брянской области, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях 130
- И.К. Хвостунов, Н.Н. Шепель, А.В. Севанькаев, В.Ю. Нугис, О.Н. Коровчук, Л.В. Курсова, Ю.А. Рагулин**
Совершенствование методов биологической дозиметрии путем анализа хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови человека при облучении *in vitro* и *in vivo* 135
- Р.А. Сакович**
Мультиспиральная компьютерная томография в кардиологической практике 148
- Правила для авторов 157

Experience exchange

- G.A. Romanova**
The effectiveness of long-term disease screening in the population of the Bryansk region, living in radionuclide contaminated territories
- I.K. Khvostunov, N.N. Shepel, A.V. Sevan'kaev, V.Yu. Nugis, O.N. Korovchuk, L.V. Kursova, Yu.A. Ragulin**
The improvement of methods of biological dosimetry by analysis of chromosomal aberrations induced in human blood lymphocytes *in vitro* and *in vivo*
- R.A. Sakovich**
Multislice computed tomography in cardiology practice

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НАСЕЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ГУ «Республиканский научно-практический центр гигиены» г. Минск, Беларусь

Проведена оценка радиологического воздействия выбросов АЭС с инновационным ядерным реактором при ее нормальной эксплуатации на население. Проведено ранжирование радионуклидов по их вкладу в дозу облучения населения при различных путях облучения. Установлено, что одним из направлений для дальнейшего совершенствования ядерных энергетических систем должно стать ограничение выброса в атмосферу радионуклидов С-14 и Н-3.

Ключевые слова: инновационные ядерные реакторы и топливные циклы, АЭС, нормальная эксплуатация, доза облучения населения, ранжирование радионуклидов

Введение

Возникшая в последние годы обеспокоенность по поводу доступности энергетических ресурсов, изменения климата и энергетической безопасности свидетельствуют о важной роли ядерной энергетики в обеспечении энергетическими ресурсами во всем мире. В 2000 году Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) создало научный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (INPRO), чтобы гарантировать безопасность и доступность ядерной энергии для стран-членов МАГАТЭ, принявших решение о строительстве АЭС [1]. В реализации проекта участвуют 34 страны члена МАГАТЭ и Европейская Комиссия. Республика Беларусь является участником проекта INPRO с 2009 г.

Проект INPRO разделен на ряд подпроектов, целью которых является сотрудничество между разработчиками ядерных технологий и их пользователями для объединения усилий на международном и национальном уровнях, которые привели бы к результатам, указывающим на необходимость инноваций в ядерных реакторах, топливных циклах и институциональных подходах. Одним из подпроектов, в реализации которого участвовали сотрудники лаборатории радиационной безопасности ГУ «РНПЦ гигиены» – подпроект «Воздействие на окружающую среду ядерных энер-

гетических систем в режиме нормальной эксплуатации (INPRO-ENV)». В научном подпроекте INPRO-ENV принимали участие 7 стран: Беларусь, Бразилия, Индия, Индонезия, Россия, Франция и Украина. Задачей INPRO-ENV являлась верификация методологий для ранжирования радионуклидов для заданного сценария выброса и пути облучения при нормальной эксплуатации АЭС с инновационным ядерным реактором. Данное исследование (сравнение методологий ранжирования) носило общий характер и может быть применимо для различных источников выброса (различных типов АЭС) при нормальной эксплуатации.

Ниже приведены результаты исследований, выполненных белорусской стороной в рамках INPRO-ENV, в части радиологического воздействия атмосферных выбросов радионуклидов на население и определения радионуклидов, вклад в дозу облучения которых максимален. Результаты деятельности проекта INPRO в настоящее время доступны для всех стран-членов МАГАТЭ [2].

Материалы и методы исследования

В ходе реализации INPRO-ENV проведен ряд оценок для выбросов и сбросов радионуклидов в атмосферу и водную среду. Рассмотрено 3 сценария: «А» - все параметры сценария фиксированы (выброс, метеорологические условия, местораспо-

ложение, потребление продуктов питания населением и др.); «Б» - все параметры фиксированы, кроме метеорологических условий (выбирались метеоусловия, характерные для каждой страны-участницы исследования); и сценарий «В» – все параметры фиксированы, кроме потребления продуктов питания, интенсивности ингаляции и коэффициентов перехода к дозе.

Атмосферный выброс радионуклидов

Объектом исследования подпроекта INPRO-ENV для оценки радиологического воздействия атмосферного выброса радионуклидов являлся один энергоблок Южнокорейской АЭС с реактором типа APR 1400, работающий в режиме нормальной эксплуатации. Реактор третьего поколения типа APR 1400 является инновационным, и в настоящее время Южная Корея строит 4 энергоблока с данными типами реакторов, ввод первого энергоблока намечен на сентябрь 2013 г. [3].

Ожидаемый годовой выброс радионуклидов в атмосферу при нормальной эксплуатации был рассчитан Корейским институтом ядерной безопасности с помощью кода PWR-GALE [4] для ожидаемой работы реактора на мощности 4,000 MWt с обогащением топлива < 3,64% и составил $2,71 \times 10^{14}$ Бк/год (таблица 1).

Эффективная высота выброса принята равной 100 м, подъем облака не учитывался. Расстояние от источника выброса (трубы) принято равным 10 км.

Метеорологические условия (скорость и направление ветра) по данным многолетних наблюдений (с 2002 по 2008 гг.) для сценариев «А» и «В» предоставлены Бразильским исследовательским институтом ядерной энергии, для сценария «Б» - выбраны характерные для Беларуси метеоусловия, по данным Республиканского центра радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Для оценки доз населения рассматривались следующие пути облучения: внеш-

нее облучение от радионуклидов, осаждаемых на поверхности земли, облучение при погружении в облако (иммерсии) и внутреннее облучение от ингаляции и потребления продуктов питания.

Доза облучения рассчитывалась для взрослого человека (старше 17 лет), проживающего на расстоянии 10 км от АЭС, проводящего 100% времени (8760 ч/год) на данной территории, и потребляющего продукты питания только местного производства.

Интенсивность ингаляции принята равной 8400 м³/год, период ингаляции и погружения в облако – 8760 ч/год [5].

Потребление продуктов питания населением принято согласно рекомендациям МАГАТЭ о среднем рационе для жителей Европы для сценариев «А» и «Б» [5], для сценария «В» – рацион, характерный для жителей Беларуси (по данным БелСтат) [6] (таблица 2).

Все параметры, касающиеся поведения радионуклидов в почвах, растениях и сельскохозяйственных животных, необходимые для проведения оценки доз об-

Таблица 1 – Годовой атмосферный выброс радионуклидов, Бк/год

Радионуклид	Выброс, Бк/год	Радионуклид	Выброс, Бк/год
H-3	3,44E+13	Ru-106	2,89E+04
C-14 (C02)	2,70E+11	Sb-125	2,26E+04
Ag-41	1,26E+12	Xe-131m	2,11E+13
Cr-51	3,59E+06	Xe-133	3,00E+13
Mn-54	2,11E+06	Xe-133m	3,70E+11
Fe-59	1,04E+06	Xe-135	1,59E+12
Co-57	3,03E+05	Xe-135m	1,48E+11
Co-58	1,78E+07	Xe-138	1,11E+11
Co-60	4,07E+06	I-131	1,37E+09
Kr-85	1,81E+14	I-132(e)	5,92E+09
Kr-85m	2,22E+11	I-133 (e)	4,07E+09
Kr-87	1,48E+11	I-134 (e)	9,62E+09
Kr-88	4,07E+11	I-135 (e)	7,40E+09
Sr-89	5,92E+06	Cs-134	1,78E+06
Sr-90	2,33E+06	Cs-136	1,22E+06
Zr-95	3,70E+05	Cs-137	3,33E+06
Nb-95	1,55E+06	Ba-140	1,55E+05
Ru-103	6,29E+05	Ce-141	4,81E+05

Таблица 2 – Потребление продуктов питания, кг/год

Вид продукта	Потребление, кг (л)/год	
	Европа	Беларусь
Молоко	250	62,99
Мясо (говядина)	100	33,82
Фрукты, овощи (включая картофель), зерновые	410	
Листовые овощи	115	15,28
Корнеплоды	187	82,03
Фрукты	108	29,82

лучения населения, фиксированы для всех сценариев и выбраны в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [5, 7].

Использовались коэффициенты перехода к дозе согласно Публикации 115 [8], тип соединения радионуклидов при ингаляции – согласно Публикации 72 МКРЗ [9].

Концентрация радионуклидов в воздухе и продуктах питания и дозы облучения населения оценивались с помощью лицензионного программного пакета PC CREAM-08 (Consequences of Releases to the Environment: Assessment Methodology), разработанного Агентством по охране здоровья Великобритании, который является одним из наиболее современных программных инструментов для оценки радиологического влияния рутинных выбросов АЭС в окружающую среду [10]. При разработке методологии PC CREAM-08 использована Публикация 103 МКРЗ [11], дозовые коэффициенты и взвешивающие тканевые множители – как приведено в Публикации 60 МКРЗ [12].

Процессы миграции радионуклидов С-14 и Н-3 в наземных экосистемах носят более сложный характер, чем для остальных радионуклидов. Это является следствием фундаментальной роли, которую играют С-14 и Н-3 в биологических системах. Для оценки процессов миграции данных радионуклидов и процесса попадания в организм человека использовался подход с оценкой удельной активности (учитывались специальные условия) [10].

Результаты исследования

Результаты оценок доз облучения от всех радионуклидов в выбросе по различным путям поступления для трех сценариев облучения («А», «Б», «В») за один год нормальной эксплуатации АЭС приведены в таблице 3.

Проведено ранжирование радионуклидов по их вкладу в дозу облучения в целом и по различным путям поступления для выявления критических радионуклидов, т.е. тех радионуклидов, вклад в дозу которых максимален.

На рисунке 1 приведены диаграммы распределения вклада радионуклидов в дозу облучения при различных путях поступления для сценария «А», вклад в дозу которых являлся значимым. В данном исследовании вклад радионуклида в дозу облучения считался значимым, если он превышал 1 %.

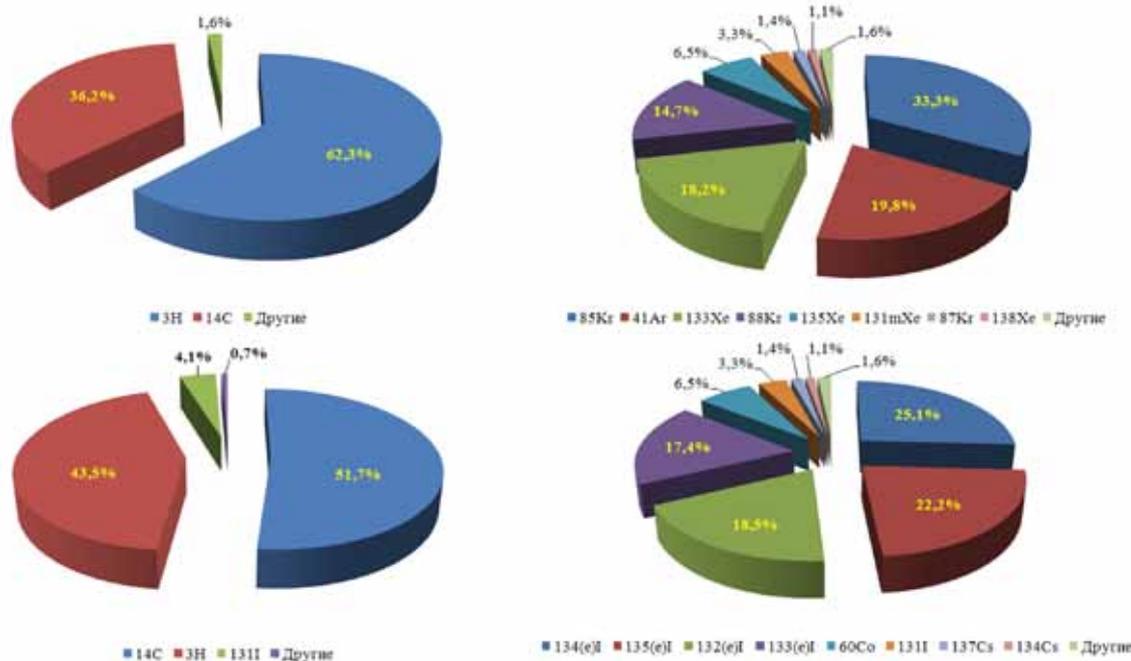
При сценариях «Б» и «В» вклад радионуклидов в дозу облучения при различных путях поступления практически такой же, как и при сценарии «А». При сценарии «Б» вклад значимых радионуклидов следующий: ингаляция: Н-3 – 62,2 %, С-14 – 36,2 %, другие – 1,6%;

погружение в облако: Кг-85 – 32 %, Аг-41 – 22,1 %, Sr-90 – 17,5 %, Кг-88 – 14,0 %, Хе-133m – 6,3 %, Sr-89 – 3,2 %, Кг-87 – 1,6 %, Хе-135m – 1,6%, другие – 1,7 %;

потребление: С-14 – 51,1 %, Н-3 – 43 %, I-131 – 5,1 %, другие – 0,8 %;

Таблица 3 – Доза облучения населения, мкЗв

Путь облучения	Доза облучения, мкЗв		
	«А»	«Б»	«В»
Ингаляция	$2,17 \times 10^{-3}$	$2,36 \times 10^{-3}$	$2,17 \times 10^{-3}$
Погружение в облако	$5,02 \times 10^{-4}$	$5,65 \times 10^{-4}$	$5,02 \times 10^{-4}$
Потребление	$1,91 \times 10^{-2}$	$2,11 \times 10^{-2}$	$5,79 \times 10^{-3}$
Внешнее облучение	$6,93 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-3}$	$6,93 \times 10^{-4}$
Общая эффективная доза (все пути облучения)	$2,25 \times 10^{-2}$	$2,51 \times 10^{-2}$	$9,15 \times 10^{-3}$



А – ингаляция; Б – погружение в облако; В – потребление; Г – внешнее облучение
Рисунок 1 – Вклад отдельных радионуклидов в дозу облучения населения при различных путях поступления, сценарий «А»

внешнее облучение: I-134 – 31,1 %, I-135 – 20,3 %, I-132 – 18,7 %, I-133 – 15,3 %, Co-60 – 6,1 %, I-131 – 3,8 %, Cs-137 – 2,9 %, другие – 1,9 %. При сценарии «В» вклад значимых радионуклидов:

ингаляция: H-3 – 62,2 %, C-14 – 36,2 %, другие – 1,6%;

погружение в облако: Kr-85 – 33,3 %, Ar-41 – 19,8 %, Sr-90 – 18,4 %, Kr-88 – 14,7 %, Xe-133m – 6,5 %, Sr-89 – 3,3 %, Kr-87 – 1,4 %, Xe-135m – 1,1%, другие – 1,4 %;

потребление: C-14 – 52,1 %, H-3 – 42,1 %, I-131 – 5,2 %, другие – 0,6 %;

внешнее облучение: I-134 – 31,1 %, I-135 – 20,3 %, I-132 – 18,7 %, I-133 – 15,3 %, Co-60 – 6,1 %, I-131 – 3,8 %, Cs-137 – 2,9 %, другие – 1,9 %.

Таким образом, при ингаляционном поступлении для всех трех сценариев критическим радионуклидом будет являться H-3 (вклад в дозу от ингаляции составил 62%), при пероральном – C-14 (вклад в дозу от потребления – 51-52 %), при погружении в облако – инертные газы, в частности Kr-85 и Ar-41 (вклад 32-33% и 20-22 % соответственно), а при внешнем облучении – радионуклиды йода (их вклад составил порядка 95 %).

Для всех исследуемых сценариев определены 10 наиболее значимых радионуклидов, которые вносят наибольший вклад в общую эффективную дозу от всех путей поступления (таблицы 4-6).

Для всех рассмотренных сценариев максимальный вклад в общую эффективную дозу от всех путей поступления вносят C-14, H-3 и I-131.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что дозы облучения населения при атмосферном выбросе радионуклидов от АЭС, работающей в режиме нормальной эксплуатации, являются незначительными (они равны 2,25E-02 мкЗв, 2,51E-02 мкЗв, 9,15E-03 мкЗв для сценариев А, Б и В соответственно), и различие в численных значениях годовых доз облучения для разных сценариев практически отсутствует.

Критическими радионуклидами, которые вносят наибольший вклад в дозу облучения, являются C-14 и H-3, вклад которых в дозу составляет 41,5-47,5 % и 41,3-43 % соответственно. Остальные радионуклиды вносят вклад менее 1 % каждый при сце-

нарии «А». При сценарии «Б» I-134 вносит вклад в дозу, равный 1,4 %, а остальные радионуклиды – менее 1 % каждый. При сценарии «В» другие радионуклиды вносили значимый вклад в дозу: I-134 – 1,92 %, Кг-85 – 1,83 %, I-135 – 1,74 %, I-133 – 1,64 %, I-132 – 1,42 %, Аг-41 – 1,49 %, Sr-90 – 1,01 %.

Основным путем облучения при всех сценариях являлось поступление радионуклидов с продуктами питания, вклад в дозу составил 63,2-85 %. Вклад в дозу ингаляционного пути поступления составил от 23,7 до 9,6 %, внешнего облучения – 7,6-3,1 %, погружения в облако – 5,5-2,2 %.

Таким образом, значительных различий между результатами ранжирования радионуклидов по всем трем сценариям не наблюдается. Результаты оценок по сценариям «А» и «Б» практически равны, что свидетельствует о том, что метеорологические условия не оказывают влияния на ранжирование. Разница между «А» («Б») и «В» более значительная, что обусловлено разницей в дозовых коэффициентах и уровнях потребления продуктов питания.

Необходимо отметить, что результаты ранжирования радионуклидов в значительной мере зависят от типа моделей, используемых при оценке доз облучения, в частности, от того, учитывает ли модель специальные параметры для С-14 и Н-3. В случае, если при оценке специальные условия не принимаются во внимание, то критическими радионуклидами будут являться радионуклиды йода, в частности I-131 и в меньшей мере I-134, I-133, I-132, I-135 (таблицы 4-6).

Полученные в данном исследовании результаты полностью согласуются с результатами, полученными международными экспертами с применением других методик оценки доз облучения для заданных сценариев облучения.

Библиографический список

1. About INPRO [Электронный ресурс]: International Atomic Energy Agency. – Режим доступа: <http://www.iaea.org/INPRO/about.html>. – Дата доступа 26.03.2012 г.

Таблица 4 – Ранжирование радионуклидов по вкладу в дозу облучения, сценарий «А»

Ранг	Радионуклид	Вклад в дозу, %
1	С-14	47,46
2	Н-3	43,03
3	I-131	3,68
4	I-134(e)	0,78
5	I-133(e)	0,75
6	Кг-85	0,74
7	I-135(e)	0,71
8	I-132(e)	0,58
9	Аг-41	0,44
10	Хе-133	0,41

Таблица 5 – Ранжирование радионуклидов по вкладу в дозу облучения, сценарий «Б»

Ранг	Радионуклид	Вклад в дозу, %
1	С-14	46,33
2	Н-3	42,01
3	I-131	4,48
4	I-134(e)	1,35
5	I-133(e)	0,92
6	I-135(e)	0,91
7	I-132(e)	0,82
8	Кг-85	0,72
9	Аг-41	0,50
10	Sr-90	0,39

Таблица 6 – Ранжирование радионуклидов по вкладу в дозу облучения, сценарий «В»

Ранг	Радионуклид	Вклад в дозу, %
1	С-14	41,53
2	Н-3	41,35
3	I-131	3,79
4	I-134(e)	1,92
5	Кг-85	1,83
6	I-135(e)	1,74
7	I-133(e)	1,64
8	I-132(e)	1,42
9	Аг-41	1,09
10	Sr-90	1,01

2. Collaborative Projects. Environmental Impact Benchmarking Applicable for Nuclear Energy System under Normal Operation (ENV) [Электронный ресурс]: International Atomic Energy Agency. – Режим доступа: <http://www.iaea.org/INPRO/CPs/ENV/index.html>. – Дата доступа 26.03.2012 г.

3. APR 1400. [Электронный ресурс]: Korea Hydro & Nuclear Power Company. –

Режим доступа: <http://www.aprl400.com/> –
Дата доступа: 26.03.2012 г.

4. Chandrasekaran, T. Calculation of releases of radioactive materials in gaseous and liquid effluents from pressurized water reactors (PWR-GALE Code). Revision 1. NUREG-0017-Rev.1 / US Nuclear Regulatory Commission. / T. Chandrasekaran, J.Y. Lee, C.A. Willis. – Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission, 1985. – 208 p.

5. Safety Report Series № 19. Generic Models for Use in Assessing the impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. – Vienna, IAEA, 2001 – 216 p.

6. Население Республики Беларусь, 2008: стат. сб. / М-во статистики и анализа Респ. Беларусь. – Минск, 2008. – 460 с.

7. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Report Series No 472 / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2010. – 194 p.

8. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No 115 / Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atom-

ic Energy Agency, International Labor Organisation, OECD Nuclear Energy Agency, PAN American Health Organization, World Health Organization. – Vienna: IAEA, 1996. – 353 p.

9. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72, Ann. ICRP 26 (1) / The International Commission on Radiological Protection. – Oxford and New York: Pergamon Press, 1995. – 91 p.

10. Smith, J.G. The methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment used in PC-CREAM 08. HPA-RPD-058 / J.G. Smith, J.R. Simmonds. – Didcot, HP A, 2009. – 295 p.

11. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60 / International Commission on Radiological Protection. – Oxford and New York: Pergamon Press, 1991. – 201 p.

12. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: Publication No 103, Ann. ICRP 37 (2-4) / The International Commission on Radiological Protection. – Oxford and New York: Pergamon Press, 2007. – 332 p.

V.V. Kliaus

IMPACT ON THE POPULATION OF INNOVATIVE NUCLEAR ENERGY SYSTEMS UNDER NORMAL OPERATION

Belarus has taken part in realization of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles project (INPRO) of the International Atomic Energy Agency since 2009. The study was made under the collaborative project "Environmental Impact Benchmarking Applicable for Nuclear Energy System under Normal Operation (INPRO-ENV)". The aim of the study was to assess doses to public in the vicinity of an NPP with an innovative nuclear reactor and to do ranking of radionuclides according to their contribution to total dose. Three cases were studied to see the impact of changing of different parameters (e.g. meteorology, consumption and inhalation rate, etc.). In the result of the INPRO-ENV study it was defined that dose values to public are very small and do not differ between cases significantly: Case A – $2,25 \times 10^{-2}$ uSv, Case B – $2,51 \times 10^{-2}$ jSv, Case C – $9,15 \times 10^{-3}$ uSv. The "main" radionuclides that makes a major contribution to dose are: C-14 (41,5-47,5 % to the total dose), H-3 (41,3-43 %) and in less degree I-131 (3,7-4,5 %). So based on results achieved we could make a conclusion the future development of nuclear installations should be focused on the limitation of discharges of C-14 and H-3 into the atmosphere.

Key words: *innovative nuclear reactors and fuel cycles, NPP, normal operation, dose to the public, ranking of radionuclides*

Поступила 26.03.13