

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(15)
2016 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 2012 г.)

Журнал зарегистрирован

Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 08.04.16.
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 200 экз.
Усл. печ. л. 25,87. Уч.-изд. л. 14,03.
Зак. 32.

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 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., зам. гл. редактора), В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), Н.Г. Власова (д.б.н., доцент, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент), И.В. Веякин (к.б.н.), В.В. Евсеенко (к.п.с.н.), С.В. Зыблева (к.м.н., отв. секретарь), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаев (к.м.н.), А.Н. Лызикив (д.м.н., профессор), А.В. Макавич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), 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.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), М.Г. Русаленко (к.м.н.), А.Е. Силин (к.б.н.), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), А.Н. Цуканов (к.м.н.), Н.И. Шевченко (к.б.н.)

Редакционный совет

В.И. Жарко (министр здравоохранения Республика Беларусь, Минск), 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), Е.А. 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), Ю.Е. Демидчик (д.м.н., член-корреспондент НАН РБ, 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), 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), Н.Д. Тронько (д.м.н., профессор, Киев), В.А. Филонюк (к.м.н., доцент, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Е. Шевчук (к.м.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», 2016

№ 1(15)

2016

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

30 лет после аварии на Чернобыльской атомной электростанции

- Е.Л. Богдан, А.В. Рожко**
30-летний опыт организации и оказания медицинской помощи населению, пострадавшему в результате катастрофы на ЧАЭС 7
- С.С. Алексанин, С.В. Дударенко**
Отдаленные медицинские последствия аварий на ЧАЭС 15
- Н.Г. Власова**
Переход от зонирования радиоактивно загрязнённой территории к классификации населённых пунктов по средним годовым эффективным дозам облучения в отдалённом периоде после аварии на ЧАЭС 24
- А.В. Рожко, Э.А. Надыров, И.В. Веялкин, А.Н. Стожаров, Е.Л. Богдан, С.Н. Никонович, О.Ф. Семененко, О.Н. Захарова, Ю.В. Чайкова, А.А. Чешик**
Медицинские последствия аварии на ЧАЭС в Республике Беларусь: 30 лет спустя 31
- И.К. Романович, Г.Я. Брук, А.Н. Барковский, А.А. Братилова, А.В. Громов**
Критерии и требования по обеспечению перехода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения 43

Обзоры и проблемные статьи

- С.С. Алексанин, Р.Ф. Федорцева, И.Б. Бычкова**
К проблеме отдаленных последствий действия радиации. Особые клеточные эффекты и соматические последствия облучения в малых дозах 54
- О.П. Логинова, В.В. Клименок**
Современные методы ранней диагностики рака шейки матки 62

30 years after Chernobyl accident

- E.L. Bogdan, A.V. Rozhko**
30-years experience of medical care organization and provision to people affected by the Chernobyl accident 7
- S. Aleksanin, S. Dudarenko**
Remote medical consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant 15
- N.G. Vlasova**
From zoning radioactive contaminated territories to classification of settlements at an average annual effective doses in remote period after the accident 24
- A.V. Rozhko, E.A. Nadyrov, I.V. Veyalkin, A.N. Stozharov, E.L. Bogdan, S.N. Nikonovich, O.F. Semenenko, O.N. Zakharova, Yu.V. Chaykova, A.A. Cheshik**
Medical effects of Chernobyl disaster in the Republic of Belarus: 30 years after 31
- I.K. Romanovich, G.Ya. Bruk, A.N. Barkovsky, A.A. Bratilova, A.V. Gromov**
Criteria and requirements for providing of the conversion of the settlements referred to the territories of radioactive contamination due to the Chernobyl accident to the conditions of the population normal life activity 43

Reviews and problem articles

- S.S. Aleksanin, R.F. Fedortseva, I.B. Bychkovskaya**
The problem of remote effects of radiation. Special cell effects and somatic consequences of low doses exposure 54
- O.P. Loginova, V.V. Klimenok**
Modern methods of the early detection of the cervical cancer 62

С.И. Роговская, Н.Ю. Полонская, А.Ж. Гайдарава, М.И. Манжосова
Вторичная профилактика рака шейки матки 70

S.I. Rogovskaya, N.Yu. Polonskaya, A.Zh. Gaydarova, M.I. Manzhosova
Secondary prophylaxis of cervical cancer

Медико-биологические проблемы

Medical-biological problems

В.С. Аверин, К.Н. Бuzдалкин, Е.В. Копыльцова, Е.К. Нилова, Э.Н. Цуранков
Ожидаемые дозы внутреннего облучения жителей некоторых населённых пунктов Гомельской области 77

V.S. Averin, K.N. Buzdalkin, E.V. Kopyltsova, E.K. Nilova, E.N. Tsurankov
⁹⁰Sr ingestion and committed doses in population of Gomel region

Л. Апончук, Т. Шевчук
Особенности центральной гемодинамики и электрической активности сердца у курящих женщин с разным стажем курения 82

L. S. Aponchuk, T. Ya. Shevchuk
Peculiarities of central hemodynamics and electrical activity of the heart in female smokers with different smoking experience

К.Н. Апсаликов, Т.И. Белихина, Б.Х. Алиев, М.К. Хакимов, Т.Ж. Мулдагалиев
Изучение динамики онкологической заболеваемости среди лиц, подвергавшихся прямому облучению в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, и их потомков 91

K.N. Apsalikov, T.I. Belihina, B.H. Aliev, M.K. Hakimov, T.Z. Muldagaliev
Studying the dynamics of cancer incidence among those exposed to the direct radiation and their descendants, as a result of nuclear weapons tests at the Semipalatinsk test site

А.А. Братилова
Облучение населения Российской Федерации, проживающего на территориях, пострадавших вследствие аварии на Чернобыльской АЭС 97

A.A. Bratilova
The exposure of Russian Federation population, living in the territories affected due to the accident on Chernobyl NPP

Л.А. Горбач
Туберкулез среди детского и подросткового населения наиболее пострадавших от Чернобыльской катастрофы районов Могилевской области 106

L.A. Gorbach
Tuberculosis among children and adolescents living in areas of the Mogilev region most affected by the Chernobyl disaster

В.В. Евсеенко, В.В. Дроздович, Е.В. Остроумова, В.Ф. Миненко, М. Хатч, О.Н. Полянская, А.В. Бреннер, И.В. Веялкин, Э.А. Надьров, Л.С. Старостенко, А.В. Рожко, К. Мабучи
Формирование когорты лиц, облученных внутриутробно в Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС 113

V. Yauseyenko, V. Drozdovitch, E. Ostroumova, V. Minenko, M. Hatch, O. Polyanskaya, A. Brenner, I. Veyalkin, E. Nadyrov, L. Starostenko, A. Rozhko, K. Mabuchi

Construction of cohort of persons exposed in utero in Belarus following the Chernobyl accident

В.В. Кляус, Е.В. Николаенко
Радиационно-гигиеническое обоснование размера санитарно-защитной зоны вокруг Белорусской АЭС 124

V.V. Kliaus, A.U. Nikalayenka
Radiation-hygienic basement of the size of sanitary-protection zone around Belarusian NPP

- К.М. Литвинчук**
Радиомодифицирующее влияние
2-меркаптобензотиазола на клетки *in vitro* 131
- Л.Н. Эвентова, Д.Н. Дроздов, А.Н. Матарас,
Е.А. Дрозд, Ю.В. Висенберг, Н.Г. Власова**
Мониторинг доз внутреннего облучения населения в отдалённом периоде после аварии на ЧАЭС 138

Клиническая медицина

- Т.В. Бобр**
Факторы риска в развитии диабетической ретинопатии при переводе на инсулинотерапию 145

- Д.И. Гавриленко, Н.Н. Силивончик,
Н.И. Шевченко, Ю.И. Ярец**
Спектр возбудителей основных инфекционных осложнений у госпитализированных пациентов с циррозом печени 150

- С.В. Зыблева, А.В. Величко, З.А. Дундаров,
С.Л. Зыблев, В.В. Похожай, Т.С. Петренко**
Нарушения иммунного статуса при первичном гиперпаратиреозе 157

- О.Н. Кононова, А.М. Пристром, Э.Н. Платошкин,
А.В. Коротаев, Е.П. Науменко,
Н.В. Николаева, О.В. Зотова**
Структурно-функциональные изменения сердца у беременных с метаболическим синдромом 163

- А.В. Куроедов, Л.Д. Абышева, А.С. Александров,
Н.А. Бакунина, А.С. Басинский,
А.Ю. Брежнев, И.Р. Газизова, А.Б. Галимова,
О.В. Гапонько, В.В. Гарькавенко,
В.В. Городничий, М.С. Горшкова, А.А. Гусаревич,
Д.А. Дорофеев, П.Ч. Завадский,
О.Г. Зверева, У.Р. Каримов, С.Н. Ланин,
Дж.Н. Ловпаче, И.А. Лоскутов, Е.В. Молчанова,
В.Ю. Огородникова, О.Н. Онуфрийчук,
С.Ю. Петров, Ю.И. Рожко, Л.Б. Таштитова,
А.С. Хохлова, И.В. Шапошникова,
А.П. Шахалова**
Тактика ведения пациентов с первичной открытоугольной глаукомой на практике: варианты медикаментозного, лазерного и хирургического лечения 170

- K. M. Lytvynchuk**
Radiomodifying influence 2-merkapto-
benzotiazole on cells *in vitro*

- L.N. Eventova, D.N. Drozdov, A.N. Mataras,
E.A. Drozd, Yu.V. Visenberg, N.G. Vlasova**
The monitoring of internal exposure doses in populations in the remote period after the accident at the Chernobyl nuclear power plant

Clinical medicine

- T.V. Bobr**
Risk factors for diabetic retinopathy when translated into insulin

- D. Haurylenka, N. Silivontchik, N. Shevchenko,
Y. Yarets**
Spectrum of pathogens of major infectious complications in hospitalized cirrhotic patients

- S. Zybleva, A. Velichko, Z.A. Dundarov, V. Pohojai,
S. Zyblev, T.S. Petrenko**
Immune status disorders with the primary hyperparathyroidism

- O.N. Kononova, A.M. Prystrom, E.N. Platoschkin,
A.V. Korotaev, E.P. Naumenko,
N.V. Nikolaeva, O.V. Zotova**
Early structural and functional features diagnosis of the heart, during pregnancy with metabolic syndrome

- A.V. .Kuroyedov, L.D. Aбыsheva, A.S. Alexandrov,
N.A. Bakunina, A.S. Basinsky,
A.Yu. Brezhnev, I.R. Gazizova, A.B. Galimova,
O.V. Gapon'ko, V.V. Garkavenko, V.V. Gorodnichy,
M.S. Gorshkova, A.A. Gusarevitch,
D.A. Dorofeev, P.Ch. Zavadsky, M.A. Zakharova,
O.G. Zvereva, U.R. Karimov, S.N. Lanin,
Dzh.N. Lovpache, I.A. Loskutov, E.V. Molchanova,
V.Yu. Ogorodnikova, O.N. Onufriychuk,
S.Yu. Petrov, Yu.I. Rozhko, L.B. Tashititova,
A.S. Khohlova, I.V. Shaposhnikova,
A.P. Shahalova**
Management of primary open-angle glaucoma in practice: variants of medical, laser and surgical treatment

Э.А. Повелица, В.В. Аничкин Естественные предпосылки возникновения органической эректильной дисфункции	186	E. Povelitsa, V. Anichkin Natural preconditions for development of organic erectile dysfunction	
Е.А. Свистунова, Н.И. Шевченко, М.Г. Русаленко Инфекционные осложнения, сопровождающие трансплантацию почки: проблемы и перспективы	195	E. Svistunova, N. Shevchenko, M. Rusalenko Infectious sequelae accompanying the kidney transplantation: problems and prospects	
Обмен опытом		Experience exchange	
Е.К. Курлянская Предикторы кардиальных событий и неблагоприятных клинических исходов у пациентов с ХСН I-IV ФК тяжести и сопутствующим сахарным диабетом в течение 12 месяцев наблюдения	204	E.K. Kurlianskaya Predictors of cardiac events and adverse clinical outcomes in patients with CHF FC I-IV severity and concomitant diabetes within 12 months of observation	
Е. А. Слепцова, А. А. Гончар Возможности сонографии, сцинтиграфии и магнитно-резонансной томографии в предоперационной диагностике опухолей и опухолеподобных образований паращитовидных желез	209	E. Sleptsova, A. Gonchar Possibility for ultrasonic study, scintigraphy and magnetic resonance tomography in preoperative diagnostics of tumors and tumor-like neoplasms of parathyroid glands	
Правила для авторов	217		

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРА САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ВОКРУГ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

РУП «Научно-практический центр гигиены», г. Минск, Беларусь

Выполнена оценка доз облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС с двумя реакторами типа ВВЭР-12008 и обоснован размер санитарно-защитной зоны, а так же разработан метод расчета и обоснования размеров санитарно-защитной зоны вокруг атомных электростанций. Проведен анализ зависимости дозы облучения от возрастной группы населения, анализ вклада в дозу облучения населения различных радионуклидов и путей облучения. Установлено, что суммарная доза облучения населения от всех факторов радиационного воздействия газоаэрозольных выбросов двух проектируемых блоков за пределами промплощадки Белорусской АЭС ни в одном из направлений не превысит 0,2 мкЗв/год. Уровни радиационного воздействия при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС позволяют совместить границу санитарно-защитной зоны с границами промплощадки. Результаты оценки показали крайне слабую зависимость дозы облучения от возрастной группы населения. Вклад различных радионуклидов различных путей облучения в суммарную эффективную дозу облучения изменяется в зависимости от расстояния от точки отсчета радиус-вектора санитарно-защитной зоны.

Ключевые слова: Белорусская АЭС, нормальная эксплуатация, доза облучения населения, санитарно-защитная зона

Введение

Во исполнение требований Законов Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», «Об использовании атомной энергии» и Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 2 апреля 2009 г. N 411 «Об утверждении положения о порядке согласования, установления и обозначения границ санитарно-защитной зоны, зоны наблюдения ядерной установки и (или) пункта хранения и требования по их охране и использованию» вокруг атомной станции должна устанавливаться санитарно-защитная зона (СЗЗ). Санитарными нормами и правилами установлены требования к СЗЗ, обоснованию размеров СЗЗ в зависимости от радиационного объекта, а также требования к содержанию СЗЗ и меры по обеспечению безопасности населения и окружающей среды.

СЗЗ устанавливается для обеспечения безопасности населения при нормальной эксплуатации атомной электростанции. В

Республике Беларусь критерием для определения размеров СЗЗ вокруг АЭС является не превышение на ее внешней границе граничной дозы облучения населения – 100 мкЗв в год, при этом квоты на облучение от выбросов АЭС не должны превышать 50 мкЗв в год и от сбросов – 50 мкЗв в год. Граничная доза устанавливается органом, осуществляющим государственный санитарный надзор. В качестве нижней границы дозы облучения от отдельного радиационного фактора при оптимизации радиационной защиты населения в режиме нормальной эксплуатации АЭС принимается минимально значимая доза, равная 10 мкЗв в год, ниже которой не требуется дополнительных мер радиационной защиты населения с учетом экономических и социальных факторов [2].

Согласно требований СП СЗЗ и ЗН-07 [3] при проектировании АЭС должны быть предусмотрены технические системы безопасности, обеспечивающие ограничение СЗЗ размерами промплощадки.

Ниже приведены результаты исследований по расчету и обоснованию размера СЗЗ Белорусской АЭС, выполненных в соответствии с требованиями [3] и с учетом проектных решений принятых для АЭС-2006.

Материал и методы исследования

Объект исследования – дозы облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС с двумя реакторами типа ВВЭР-1200.

Обоснование СЗЗ Белорусской АЭС основано на расчетных уровнях воздействия на население за счет радиоактивных газоаerosольных выбросов в атмосферу при нормальных условиях эксплуатации и с учетом метеоусловий, характерных для Островецкой площадки.

В данном исследовании рассматривался только атмосферный путь распространения радионуклидов, так как данный путь является наиболее значимым путем распространения радионуклидов в окружающей среде при нормальной эксплуатации АЭС с реактором типа ВВЭР.

В расчетах использовались проектные данные ожидаемого годового выброса радиоактивных газов и aerosолей при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС в атмосферу (без учета распространения фа-

зела градирен), выброс некоторых основных радионуклидов приведен в таблице 1.

При расчете доз облучения населения учтены выбросы на высоте вентиляционных труб (высота 100 м) блока №1 и №2 (расстояние между которыми 220 м) и вентиляционные выбросы выше кровли здания турбин (высота 30 м). Точкой отсчета радиус-вектора СЗЗ вокруг атомной станции является середина отрезка, соединяющего вентиляционные трубы блоков №1 и №2. Дозы рассчитаны для 16 румбов вокруг Белорусской АЭС.

Выброс или постоянная эмиссия радиоактивных материалов в атмосферу может вызвать облучение населения по нескольким путям:

- внешнее облучение за счет радионуклидов в атмосферном воздухе и радионуклидов, осажденных на поверхности земли;
- внутреннее облучение за счет ингаляции радионуклидов;
- внутреннее облучение за счет поступления радионуклидов по пищевым цепям.

Вклад того или иного пути облучения в дозу будет зависеть от величины выброса, радионуклидного состава и пути выброса, физико-химической формы выбрасываемых радионуклидов.

Концентрация радионуклидов в воздухе и продуктах питания и дозы облуче-

Таблица 1 – Годовой выброс радиоактивных газов и aerosолей Белорусской АЭС при нормальных условиях эксплуатации

Радионуклид	Суммарный выброс (ГБк/год)	Радионуклид	Суммарный выброс (ГБк/год)
H-3	$3,9 \times 10^3$	I-131	$7,27 \times 10^{-2}$
C-14	$3,00 \times 10^2$	I-132	$9,69 \times 10^{-2}$
Kr-83m	$6,71 \times 10^2$	I-133	$1,38 \times 10^{-1}$
Kr-85m	$2,28 \times 10^3$	I-134	$6,60 \times 10^{-2}$
Kr-87	$1,38 \times 10^3$	I-135	$1,13 \times 10^{-1}$
Kr-88	$5,03 \times 10^3$	Йоды	$4,87 \times 10^{-1}$
He-131m	$2,49 \times 10^2$	Mn-54	$4,83 \times 10^{-6}$
He-133	$2,81 \times 10^4$	Co-60	$3,10 \times 10^{-5}$
He-135	$7,55 \times 10^3$	Sr-89	$3,25 \times 10^{-4}$
He-138	$2,86 \times 10^2$	Sr-90	$5,96 \times 10^{-7}$
ИРГ	$4,59 \times 10^4$	Cs-134	$2,00 \times 10^{-2}$
Aerosоли	$5,08 \times 10^{-2}$	Cs-137	$3,03 \times 10^{-2}$

ния 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 [4]. При разработке методологии PC CREAM-08 использована Публикация 103 МКРЗ [5], дозовые коэффициенты и взвешивающие тканевые множители – как приведено в Публикации 60 МКРЗ [6].

При расчетах использовались коэффициенты перехода к дозе согласно Публикации 115 МКРЗ [7], тип соединения радионуклидов при ингаляции – согласно Публикации 72 МКРЗ [8].

Расчет эффективных доз проведен для трех возрастных групп населения с учетом всех путей внешнего и внутреннего облучения, а именно для возрастных групп: дети в возрасте 1-2 года, дети в возрасте 7-12 лет и взрослые старше 17 лет.

Все параметры, касающиеся поведения радионуклидов в почвах, растениях и сельскохозяйственных животных, необходимые для проведения оценки доз облучения населения, фиксированы для всех сценариев и выбраны в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [9, 10].

Учтено накопление долгоживущих нуклидов в компонентах наземных экосистем за срок службы станции (50 лет).

Внутреннее облучение населения, проживающего в районе размещения АЭС, формируется за счет радионуклидов, поступивших в организм с вдыхаемым воздухом (ингаляционный путь) и поступивших в организм с продуктами питания (пероральный путь).

Дозы внутреннего облучения, формируемые вследствие потребления загрязненных радионуклидами пищевых продуктов, рассчитывались на основании данных Национального статистического комитета Республики Беларусь, получаемых при ежегодном обследовании домашних хозяйств (таблица 2). При расчетах, исходя из принципа консервативности, предполагалось, что основные потребляемые населением продукты питания производятся только в личных подсобных хозяйствах.

Годовой объем вдыхаемого воздуха для оценки доз внутреннего облучения в результате ингаляционного поступления радионуклидов для детей в возрасте 1-2 года принят равным $1,9 \times 10^3$ м³/год, для детей в возрасте 7-12 лет – $5,2 \times 10^3$ м³/год и для взрослых старше 17 лет – $8,1 \times 10^3$ м³/год.

В расчетах использовались метеоданные, характерные для островецкой площадки Белорусской АЭС, представленные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

Результаты исследования

Результаты расчета доз облучения от газоаэрозольных выбросов при работе

Таблица 2 – Потребление основных пищевых продуктов различными возрастными группами населения Республики Беларусь

Продукт	Потребление, кг/год (л/год)		
	Дети (1-2 года)	Дети (7-12 лет)	Взрослые (старше 17 лет)
Молоко	81,39	75,13	62,61
Молочные продукты	34,19	34,19	42,74
Листовые овощи	3,06	4,58	15,28
Крупы (хлебные злаки)	34,64	103,91	115,45
Корнеплоды	27,21	72,57	90,71
Фрукты	7,51	15,02	15,02
Говядина	0,28	0,98	1,40
Говяжья печень	0,21	0,54	1,07

двух энергоблоков Белорусской АЭС в режиме нормальной эксплуатации для различных возрастных групп по всем направлениям (16 румбов) в зависимости от расстояния от точки отсчета радиус-вектора СЗЗ приведены в таблицах 3-5.

В результате выполненной оценки доз облучения населения установлена крайне слабая зависимость дозы облучения от возрастной группы и отсутствие значительных отличий между эффективными годовыми дозами облучения, формируемыми за год и за 50 лет. Диапазон уровня доз в зависимости от направления распространения выброса изменяется слабо, с увеличением расстояния до 10 км дозы облучения уменьшаются приблизительно в четыре раза.

Максимальные дозы облучения в зависимости от расстояния от точки отсчета радиус-вектора СЗЗ наблюдаются в различных секторах. Вклад различных путей поступления радионуклидов в дозу облучения взрослых для сектора в направлении ВСВ (при западном-юго-западном ветре), который попадает в область, где реализуются максимальные значения среднегодо-

вых метеорологических факторов разбавления, в зависимости от расстояния представлен на рисунке 1.

Вклад различных путей облучения в суммарную эффективную дозу облучения изменяется по мере удаления от АЭС. Потребление продуктов питания местного производства вносит значимый вклад (40% и более) в эффективную дозу внутреннего облучения. Незначительный вклад в дозу внешнего облучения на открытой местности (даже при условии 50-летнего накопления) вносят выпадения на поверхность, а в дозу внутреннего облучения – ингаляция. На расстоянии до 0,5 км значительный вклад в эффективную дозу облучения вносит внешнее облучение от факела выброса (40-60 %), по мере удаления от АЭС вклад дозы внутреннего облучения за счет потребления загрязненных продуктов питания в общую эффективную дозу растет и на расстоянии 10 км от станции составляет порядка 90%.

К радиационно-значимым радионуклидам, участвующим в формировании эффективной дозы облучения, относятся: ^{14}C (30% и более), ^{88}Kr (5-30%), ^{135}Xe (не бо-

Таблица 3 – Эффективные годовые дозы облучения (возрастная группа – взрослые старше 17 лет), Зв/год

Направление	Расстояние, км						
	0,25	0,5	1	2	3	5	10
С	$7,41 \times 10^{-8}$	$7,41 \times 10^{-8}$	$6,27 \times 10^{-8}$	$6,68 \times 10^{-8}$	$8,56 \times 10^{-8}$	$5,47 \times 10^{-8}$	$2,03 \times 10^{-8}$
ССВ	$6,41 \times 10^{-8}$	$7,41 \times 10^{-8}$	$5,98 \times 10^{-8}$	$6,80 \times 10^{-8}$	$8,52 \times 10^{-8}$	$5,45 \times 10^{-8}$	$2,02 \times 10^{-8}$
СВ	$6,41 \times 10^{-8}$	$7,41 \times 10^{-8}$	$5,75 \times 10^{-8}$	$7,28 \times 10^{-8}$	$8,43 \times 10^{-8}$	$5,30 \times 10^{-8}$	$2,00 \times 10^{-8}$
ВСВ	$5,47 \times 10^{-8}$	$6,03 \times 10^{-8}$	$6,40 \times 10^{-8}$	$8,27 \times 10^{-8}$	$8,31 \times 10^{-8}$	$5,12 \times 10^{-8}$	$1,95 \times 10^{-8}$
В	$6,02 \times 10^{-8}$	$5,75 \times 10^{-8}$	$6,70 \times 10^{-8}$	$9,11 \times 10^{-8}$	$8,12 \times 10^{-8}$	$4,96 \times 10^{-8}$	$1,91 \times 10^{-8}$
ВЮВ	$5,81 \times 10^{-8}$	$5,90 \times 10^{-8}$	$6,46 \times 10^{-8}$	$8,84 \times 10^{-8}$	$7,65 \times 10^{-8}$	$4,67 \times 10^{-8}$	$1,84 \times 10^{-8}$
ЮВ	$5,75 \times 10^{-8}$	$6,35 \times 10^{-8}$	$6,51 \times 10^{-8}$	$8,67 \times 10^{-8}$	$7,29 \times 10^{-8}$	$4,48 \times 10^{-8}$	$1,80 \times 10^{-8}$
ЮЮВ	$5,75 \times 10^{-8}$	$6,89 \times 10^{-8}$	$6,63 \times 10^{-8}$	$8,59 \times 10^{-8}$	$7,09 \times 10^{-8}$	$4,37 \times 10^{-8}$	$1,78 \times 10^{-8}$
Ю	$5,76 \times 10^{-8}$	$7,15 \times 10^{-8}$	$6,68 \times 10^{-8}$	$8,56 \times 10^{-8}$	$7,03 \times 10^{-8}$	$4,33 \times 10^{-8}$	$1,77 \times 10^{-8}$
ЮЮЗ	$5,75 \times 10^{-8}$	$6,89 \times 10^{-8}$	$6,63 \times 10^{-8}$	$8,59 \times 10^{-8}$	$7,09 \times 10^{-8}$	$4,37 \times 10^{-8}$	$1,78 \times 10^{-8}$
ЮЗ	$5,75 \times 10^{-8}$	$6,35 \times 10^{-8}$	$6,51 \times 10^{-8}$	$8,67 \times 10^{-8}$	$7,29 \times 10^{-8}$	$4,48 \times 10^{-8}$	$1,80 \times 10^{-8}$
ЗЮЗ	$5,82 \times 10^{-8}$	$5,91 \times 10^{-8}$	$6,45 \times 10^{-8}$	$8,83 \times 10^{-8}$	$7,64 \times 10^{-8}$	$4,67 \times 10^{-8}$	$1,84 \times 10^{-8}$
З	$6,02 \times 10^{-8}$	$5,75 \times 10^{-8}$	$6,70 \times 10^{-8}$	$9,11 \times 10^{-8}$	$8,12 \times 10^{-8}$	$4,96 \times 10^{-8}$	$1,91 \times 10^{-8}$
ЗСЗ	$5,50 \times 10^{-8}$	$6,02 \times 10^{-8}$	$6,43 \times 10^{-8}$	$8,29 \times 10^{-8}$	$8,31 \times 10^{-8}$	$5,12 \times 10^{-8}$	$1,94 \times 10^{-8}$
СЗ	$5,18 \times 10^{-8}$	$5,09 \times 10^{-8}$	$5,75 \times 10^{-8}$	$7,28 \times 10^{-8}$	$8,43 \times 10^{-8}$	$5,30 \times 10^{-8}$	$2,00 \times 10^{-8}$
ССЗ	$6,38 \times 10^{-8}$	$7,41 \times 10^{-8}$	$5,96 \times 10^{-8}$	$6,81 \times 10^{-8}$	$8,52 \times 10^{-8}$	$5,43 \times 10^{-8}$	$2,02 \times 10^{-8}$

Таблица 4 – Эффективные годовые дозы облучения (возрастная группа – дети в возрасте 7-12 лет), Зв/год

Направление	Расстояние, км						
	0,25	0,5	1	2	3	5	10
С	$7,39 \times 10^{-8}$	$7,39 \times 10^{-8}$	$6,71 \times 10^{-8}$	$7,51 \times 10^{-8}$	$9,73 \times 10^{-8}$	$6,24 \times 10^{-8}$	$2,32 \times 10^{-8}$
ССВ	$6,41 \times 10^{-8}$	$7,39 \times 10^{-8}$	$6,43 \times 10^{-8}$	$7,65 \times 10^{-8}$	$9,69 \times 10^{-8}$	$6,18 \times 10^{-8}$	$2,31 \times 10^{-8}$
СВ	$5,23 \times 10^{-8}$	$5,16 \times 10^{-8}$	$6,27 \times 10^{-8}$	$8,22 \times 10^{-8}$	$9,58 \times 10^{-8}$	$6,04 \times 10^{-8}$	$2,28 \times 10^{-8}$
ВСВ	$5,75 \times 10^{-8}$	$6,48 \times 10^{-8}$	$7,08 \times 10^{-8}$	$9,36 \times 10^{-8}$	$9,47 \times 10^{-8}$	$5,84 \times 10^{-8}$	$2,22 \times 10^{-8}$
В	$6,47 \times 10^{-8}$	$6,25 \times 10^{-8}$	$7,47 \times 10^{-8}$	$1,03 \times 10^{-7}$	$9,25 \times 10^{-8}$	$5,65 \times 10^{-8}$	$2,17 \times 10^{-8}$
ВЮВ	$6,28 \times 10^{-8}$	$6,48 \times 10^{-8}$	$7,23 \times 10^{-8}$	$1,01 \times 10^{-7}$	$8,71 \times 10^{-8}$	$5,33 \times 10^{-8}$	$2,10 \times 10^{-8}$
ЮВ	$6,24 \times 10^{-8}$	$7,02 \times 10^{-8}$	$7,29 \times 10^{-8}$	$9,86 \times 10^{-8}$	$8,32 \times 10^{-8}$	$5,11 \times 10^{-8}$	$2,06 \times 10^{-8}$
ЮЮВ	$6,27 \times 10^{-8}$	$7,66 \times 10^{-8}$	$7,44 \times 10^{-8}$	$9,76 \times 10^{-8}$	$8,08 \times 10^{-8}$	$4,98 \times 10^{-8}$	$2,02 \times 10^{-8}$
Ю	$6,28 \times 10^{-8}$	$7,96 \times 10^{-8}$	$7,51 \times 10^{-8}$	$9,73 \times 10^{-8}$	$8,00 \times 10^{-8}$	$4,93 \times 10^{-8}$	$2,01 \times 10^{-8}$
ЮЮЗ	$6,27 \times 10^{-8}$	$7,66 \times 10^{-8}$	$7,44 \times 10^{-8}$	$9,76 \times 10^{-8}$	$8,08 \times 10^{-8}$	$4,98 \times 10^{-8}$	$2,02 \times 10^{-8}$
ЮЗ	$6,24 \times 10^{-8}$	$7,02 \times 10^{-8}$	$7,29 \times 10^{-8}$	$9,86 \times 10^{-8}$	$8,32 \times 10^{-8}$	$5,11 \times 10^{-8}$	$2,06 \times 10^{-8}$
ЗЮЗ	$6,28 \times 10^{-8}$	$6,49 \times 10^{-8}$	$7,22 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$8,70 \times 10^{-8}$	$5,32 \times 10^{-8}$	$2,10 \times 10^{-8}$
З	$6,47 \times 10^{-8}$	$6,25 \times 10^{-8}$	$7,47 \times 10^{-8}$	$1,03 \times 10^{-7}$	$9,25 \times 10^{-8}$	$5,65 \times 10^{-8}$	$2,17 \times 10^{-8}$
ЗСЗ	$5,79 \times 10^{-8}$	$6,47 \times 10^{-8}$	$7,12 \times 10^{-8}$	$9,39 \times 10^{-8}$	$9,46 \times 10^{-8}$	$5,83 \times 10^{-8}$	$2,22 \times 10^{-8}$
СЗ	$5,23 \times 10^{-8}$	$5,16 \times 10^{-8}$	$6,27 \times 10^{-8}$	$8,22 \times 10^{-8}$	$9,58 \times 10^{-8}$	$6,04 \times 10^{-8}$	$2,28 \times 10^{-8}$
ССЗ	$6,38 \times 10^{-8}$	$7,39 \times 10^{-8}$	$6,42 \times 10^{-8}$	$7,66 \times 10^{-8}$	$9,69 \times 10^{-8}$	$6,18 \times 10^{-8}$	$2,31 \times 10^{-8}$

Таблица 5 – Эффективные годовые дозы облучения (возрастная группа – дети в возрасте 1- 2 года), Зв/год

Направление	Расстояние, км						
	0,25	0,5	1	2	3	5	10
С	$7,83 \times 10^{-8}$	$7,83 \times 10^{-8}$	$6,79 \times 10^{-8}$	$7,31 \times 10^{-8}$	$9,41 \times 10^{-8}$	$6,02 \times 10^{-8}$	$2,24 \times 10^{-8}$
ССВ	$6,79 \times 10^{-8}$	$7,83 \times 10^{-8}$	$6,48 \times 10^{-8}$	$7,46 \times 10^{-8}$	$9,36 \times 10^{-8}$	$5,97 \times 10^{-8}$	$2,23 \times 10^{-8}$
СВ	$5,51 \times 10^{-8}$	$5,42 \times 10^{-8}$	$6,26 \times 10^{-8}$	$8,00 \times 10^{-8}$	$9,25 \times 10^{-8}$	$5,83 \times 10^{-8}$	$2,20 \times 10^{-8}$
ВСВ	$5,89 \times 10^{-8}$	$6,54 \times 10^{-8}$	$6,98 \times 10^{-8}$	$9,07 \times 10^{-8}$	$9,14 \times 10^{-8}$	$5,63 \times 10^{-8}$	$2,14 \times 10^{-8}$
В	$6,52 \times 10^{-8}$	$6,25 \times 10^{-8}$	$7,33 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$8,93 \times 10^{-8}$	$5,45 \times 10^{-8}$	$2,09 \times 10^{-8}$
ВЮВ	$6,30 \times 10^{-8}$	$6,43 \times 10^{-8}$	$7,07 \times 10^{-8}$	$9,71 \times 10^{-8}$	$8,40 \times 10^{-8}$	$5,14 \times 10^{-8}$	$2,03 \times 10^{-8}$
ЮВ	$6,24 \times 10^{-8}$	$6,92 \times 10^{-8}$	$7,12 \times 10^{-8}$	$9,53 \times 10^{-8}$	$8,02 \times 10^{-8}$	$4,92 \times 10^{-8}$	$1,98 \times 10^{-8}$
ЮЮВ	$6,26 \times 10^{-8}$	$7,52 \times 10^{-8}$	$7,26 \times 10^{-8}$	$9,44 \times 10^{-8}$	$7,79 \times 10^{-8}$	$4,80 \times 10^{-8}$	$1,95 \times 10^{-8}$
Ю	$6,26 \times 10^{-8}$	$7,81 \times 10^{-8}$	$7,31 \times 10^{-8}$	$9,41 \times 10^{-8}$	$7,72 \times 10^{-8}$	$4,75 \times 10^{-8}$	$1,94 \times 10^{-8}$
ЮЮЗ	$6,26 \times 10^{-8}$	$7,52 \times 10^{-8}$	$7,26 \times 10^{-8}$	$9,44 \times 10^{-8}$	$7,79 \times 10^{-8}$	$4,80 \times 10^{-8}$	$1,95 \times 10^{-8}$
ЮЗ	$6,24 \times 10^{-8}$	$6,92 \times 10^{-8}$	$7,12 \times 10^{-8}$	$9,53 \times 10^{-8}$	$8,02 \times 10^{-8}$	$4,92 \times 10^{-8}$	$1,98 \times 10^{-8}$
ЗЮЗ	$6,30 \times 10^{-8}$	$6,44 \times 10^{-8}$	$7,07 \times 10^{-8}$	$9,71 \times 10^{-8}$	$8,39 \times 10^{-8}$	$5,13 \times 10^{-8}$	$2,02 \times 10^{-8}$
З	$6,52 \times 10^{-8}$	$6,25 \times 10^{-8}$	$7,33 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$8,93 \times 10^{-8}$	$5,45 \times 10^{-8}$	$2,09 \times 10^{-8}$
ЗСЗ	$5,92 \times 10^{-8}$	$6,52 \times 10^{-8}$	$7,02 \times 10^{-8}$	$9,10 \times 10^{-8}$	$9,13 \times 10^{-8}$	$5,63 \times 10^{-8}$	$2,14 \times 10^{-8}$
СЗ	$5,51 \times 10^{-8}$	$5,42 \times 10^{-8}$	$6,26 \times 10^{-8}$	$8,00 \times 10^{-8}$	$9,25 \times 10^{-8}$	$5,83 \times 10^{-8}$	$2,20 \times 10^{-8}$
ССЗ	$6,75 \times 10^{-8}$	$7,83 \times 10^{-8}$	$6,46 \times 10^{-8}$	$7,47 \times 10^{-8}$	$9,36 \times 10^{-8}$	$5,97 \times 10^{-8}$	$2,22 \times 10^{-8}$

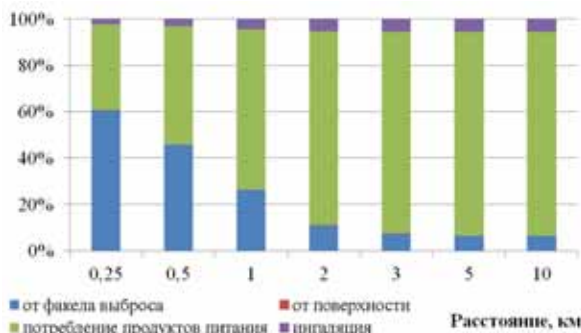


Рисунок 1 – Вклад различных путей облучения в эффективную годовую дозу облучения взрослых, направление ВСВ, Зв/год

лее 8%), ^3H (1-3%), ^{134}Cs , ^{137}Cs (не более 2% каждый), ^{131}I (менее 8%), ^{133}Xe .

Максимальный уровень дозы облучения за счет прямых путей воздействия от излучения факела выбросов и отложений на почве (при условии 50-летнего накопления и всех путей выведения с поверхности почвы) формируется на расстоянии 0,25 км от середины отрезка, соединяющего вентиляционные трубы двух энергоблоков АЭС, и не превышает 0,07 мкЗв в год. Основными радионуклидами, формирующими дозовую нагрузку на население по прямым путям (без учета внутреннего облучения), являются:

- от излучения факела выбросов – ^{88}Kr (порядка 70%) и ^{135}Xe (до 15%);
- от отложений на почве – ^{137}Cs , ^{134}Cs и радиоизотопы йода.

Максимальные значения дозы внутреннего облучения населения за счет ингаляционного поступления радионуклидов наблюдаются на расстоянии 3 км от точки отсчета радиус-вектора СЗЗ и составляют порядка 0,005 мкЗв/год. При этом доза полностью определена содержанием в газоаэрозольном выбросе станции ^{14}C (86%) и трития (14%). Максимальное значение дозы внутреннего облучения от потребления продуктов питания местного производства, обусловленное эксплуатацией АЭС, не превысит 0,09 мкЗв/год. Критическими продуктами питания для всех возрастных групп являются молоко, молочные продукты и растительные продукты питания (зерновые, картофель). Критическими радионуклидами для ребенка являются ^{14}C и ^{131}I в молоке и ^{14}C – в растительных продуктах.

Суммарная доза облучения населения от всех факторов радиационного воздействия газоаэрозольных выбросов в рамках выбранных приближений (без учета распространения факела градирен) двух проектируемых блоков за пределами промплощадки АЭС ни в одном из направлений не превысит 0,2 мкЗв/год.

Выводы

В результате выполненных исследований оценены дозы облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС с двумя реакторами типа ВВЭР-1200 и обоснован размер СЗЗ. Установлено, что доза облучения (прогнозируемый проектный уровень) для потенциально критических групп населения от всех факторов радиационного воздействия газоаэрозольных выбросов двух проектируемых блоков Белорусской АЭС за пределами промплощадки не превысит 0,2 мкЗв/год, т.е. менее 0,002% от граничной дозы облучения населения от атомной станции – годовой эффективной дозы облучения населения 100 мкЗв/год и 2% от квоты, установленной в проекте Белорусской АЭС для газоаэрозольных выбросов при нормальной эксплуатации (10 мкЗв/год), что позволяет совместить границу СЗЗ с границами промплощадки атомной станции. Результаты исследований использованы при разработке метода расчета и обоснования размеров санитарно-защитной зоны вокруг атомных электростанций.

Библиографический список

1. Инструкция по применению «Методы расчета и обоснования размеров санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения вокруг атомных электростанций», утвержденная Заместителем Министра – Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь от 25.02.2013 №001-0113.
2. Санитарные нормы и правила «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций», утвержденные Постановлением Ми-

нистерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.03.2010 №39.

3. Санитарные правила СП 2.6.1.2216-07 «Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ. СП СЗЗ и ЗН-07» Российской Федерации.

4. PC-CREAM 08 User Guide. RPD-EA-9-2009 / J. Smith [et al.]; Health Protection Agency. – Didcot, HPA, 2009. – 89 p.

5. 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.

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

7. Lung cancer risk from radon and prog-

eny of radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40 (1) / The International Commission on Radiological Protection. – Oxford and New York: Pergamon Press, 2010. – 92 p.

8. 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.

9. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. Safety Report Series No. 19 / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2001. – 216 p.

10. 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.

V.V. Kliaus, A.U. Nikalayenka

RADIATION-HYGIENIC BASEMENT OF THE SIZE OF SANITARY-PROTECTION ZONE AROUND BELARUSIAN NPP

Dose assessment to public in case of normal operation of the Belarusian NPP was performed. Dose to public from the age group dependence was analyzed as well as the contribution of different radionuclides and pathways to total dose. Justification of the size of the sanitary-protection zone around the Belarusian NPP was made. It was found that the total dose to public from all the factors of radiation impact of gaseous and aerosol releases from both NPP units will not exceed 0,2 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ in any direction out of the Belarusian NPP site territory. Such levels of radiation impact allow establishing sanitary protection zone at the same territory as site boundaries. Contribution of different radionuclides to total dose differs depending on the distance from the reference point of the radius vector of the sanitary-protection zone.

Key words: *Belarusian NPP, normal operation, dose to the public, sanitary-protection zone*

Поступила 15.03.2016