

# Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(25)

2021 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 12.04.21  
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Печать цифровая. Тираж 130 экз.  
Усл. печ. л. 23. Уч.-изд. л. 13,85.  
Зак. 28/1.

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.), А.В. Жарикова (к.м.н.), С.В. Зыблева (к.м.н., отв. секретарь), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызилов (д.м.н., профессор), А.В. Макарич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), В.М. Мицура (д.м.н., доцент), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), 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.), 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. Саливончик (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

Е.Л. Богдан (МЗ РБ, Минск), 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), 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), 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](mailto:mbp@rcrm.by)

© Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
радиационной медицины и экологии человека», 2021

№ 1(25)

2021

# 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.В. Рожко**  
Чернобыльская катастрофа 35 лет спустя: медицинские аспекты 6
- В.М. Мицура**  
Применение секвенирования нового поколения (NGS) в медицине 13

**Медико-биологические проблемы**

- А.П. Бирюков, И.В. Веялкин, Э.П. Коровкина, Ю.В. Орлов, Е.В. Васильев, И.Г. Дибиргаджиев**  
Сравнительный анализ показателей заболеваемости злокачественными новообразованиями пациентов лечебно-профилактических учреждений ФМБА России и населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях Беларуси, и смертности от них 19
- К.Н. Бuzдалкин, Н.Г. Власова, А.В. Рожко**  
Ингаляционное поступление радионуклидов в зонах воздействия АЭС 29
- В.В. Евсеенко, В. Дроздович, А.В. Рожко, И.В. Веялкин, В.Ф. Миненко, Т.С. Кухта, С.Н.Трофимик, Р.И. Гракович, О.Н. Полянская, Л.С. Старостенко, Е. Кахун, М. Хэтч, М. Литтл, А.В. Бреннер, Е. Остроумова, К. Мабучи**  
Состояние здоровья и оценка доз, поглощенных в щитовидной железе, в белорусской когорте лиц, подвергшихся облучению внутриутробно и в раннем возрасте после аварии на ЧАЭС 36
- В.В. Кляус, Е.В. Николаенко, С.И. Сычик, О.М. Жукова**  
Разработка программы аварийного радиационного мониторинга вокруг Белорусской АЭС и АЭС сопредельных государств 47
- Е.В. Кравченко, Е.В. Санько-Счисленок, О.Н. Саванец, И.В. Жебракова, Р.Д. Зильберман, Н.А. Бизунок, В.В. Дубовик**  
Влияние дипептида Pro-Gly на зоосоциальное поведение аутбредных и инбредных мышей 60

**Reviews and problem articles**

- A.V. Rozhko**  
Chernobyl disaster 35 years later: medical aspects
- V.M. Mitsura**  
The application of next-generation sequencing (NGS) in medicine

**Medical-biological problems**

- A.P. Biryukov, I.V. Veyalkin, E.P. Korovkina, Yu.V. Orlov, E.V. Vasiliev, I.G. Dibirgadzhiyev**  
Comparative analysis of cancer incidence and mortality rates of patients of therapeutic and preventive institutions of FMBA Russia and population living on radiactively contaminated territories of the Republic of Belarus
- K.N. Buzdalkin, N.G. Vlasova, A.V. Rozhko**  
Inhalation of radionuclides in the areas of nuclear power plant exposure
- V.V. Yauseyenko, V. Drozdovitch, A.V. Rozhko, I.V. Veyalkin, V.F. Minenko, T.S. Kukhta, S. Trofimik, R. Grakovitch, O.N. Polyanskaya, L. Starastsenka, E.K. Cahoon, M. Hatch, M.P. Little, A.V. Brenner, E. Ostroumova, K. Mabuchi**  
Assessment of health effects and reliability of radiation thyroid doses for belarusian persons exposed *in utero* and during early life to Chernobyl fallout
- V. Kliaus, A. Nikalayenka, S. Sychik, O. Zhukova**  
Development of the emergency radiation monitoring program around the Belarusian NPP and NPP of the neighboring states
- E.V. Kravchenko, E.V. Sanko-Chislenok, O.N. Savanets, I.V. Zhebrakova, R.D. Zilberman, N.A. Bizunok, V.V. Dubovik**  
Effect of the pro-gly dipeptide on the zosocial behavior of outbred and inbred mice

<b>В.А. Мельник</b> Типологические особенности формирования соматического статуса городских школьников	67	<b>V.A. Melnik</b> Typological features of somatotic status formation of urban schoolchildren	
<b>Е.В. Снытков, В.Н. Кипень, С.Б. Мельнов</b> Роль генетического полиморфизма и межгенного взаимодействия в повышении вероятности развития патологической игровой зависимости	72	<b>E.V. Snytkov, V.N. Kipen, S.B. Melnov</b> Role of genetic polymorphism and inter-gene interference in increased probability of the pathological game dependence development	
<b>О.П. Сергеева, Н.А. Артемова, Е.Н. Александрова</b> Противоопухолевающая эффективность химиотерапии в условиях общей гипертермии в эксперименте <i>in vivo</i>	81	<b>O.P. Sergeeva, N.A. Artemova, E.N. Alexandrova</b> Antitumor efficacy of thermochemotherapy <i>in vivo</i> experiment	
<b>В.А. Филонюк, В.В. Шевляков, Е.В. Чернышова, Г.И. Эрм, А.В. Буйницкая, С.А. Баранов</b> Токсиколого-гигиеническое обоснование безопасного производства и применения микробного препарата «Корнеплюс»	88	<b>V. Filanyuk, V. Shevlyakov, E. Chernyshova, G. Erm, A. Buinitskaya, S. Baranav</b> Toxicologo-hygienic substantiation of safe production and use of microbial preparation «Corneplus»	
<b>Л.Н. Эвентова, А.Н. Матарас, Г.Н. Евтушкова, Е.А. Дрозд, Н.Г. Власова</b> Методический подход к прогнозу доз облучения населения в ситуации существующего облучения	96	<b>L.N. Eventova, A.N. Mataras, G. N. Evtushkova, E.A. Drozd, N. G. Vlasova</b> Methodological approach for predicting the exposure doses to the population in the existing exposure situation	

### ***Клиническая медицина***

<b>А.Г. Булгак, И.Б. Моссе, О.В. Зотова, Т.С. Королева, Н.В. Николаева, А.Л. Гончар</b> Роль генетического полиморфизма в развитии инфаркта миокарда среди мужчин из Республики Беларусь	102
<b>С.В. Зыблева</b> Особенности экспрессии рецепторов ранней и поздней активации Т-лимфоцитов у пациентов после трансплантации почки	113
<b>А.В. Коротаев, Е.П. Науменко, Л.Е. Коротаева</b> Возможности диагностики и прогнозирования патологического ремоделирования миокарда левого желудочка	122

### ***Clinical medicine***

<b>A.G. Bulgak, I.B. Mosse, O.V. Zotova, T.S. Koroleva, N.V. Nikolaeva, A.L. Gonchar</b> The role of genetic polymorphism in the development of myocardial infarction in men from the Republic of Belaurus	
<b>S.V. Zybleva</b> Features of expression of receptors of early and late activation of T-lymphocytes in patients after kidney transplantation	
<b>A.V. Korotaev, E.P. Naumenko, L.E. Korotaeva</b> Diagnostic and predictive capabilities pathological remodeling of the left ventricular myocardium	

- М.В. Линков, И.В. Веялкин, Д.К. Новик, Н.Н. Усова**  
Эпидемиологическая характеристика множественной миеломы в Республике Беларусь за 2010-2019 годы 130
- Е.А. Полякова, Д.В. Остроушко, М.В. Стёганцева, И.Е. Гурьянова, Ю.В. Тимохова, М.В. Белевцев**  
Оценка содержания кольцевых молекул ДНК Т- и В-клеточного рецептора (TREC/KREC) у новорожденных различного гестационного возраста 135
- И.Г. Савастеева, Ю.И. Ярец, М.Г. Русаленко**  
Компоненты метаболического риска у молодого населения Гомельской области 143
- М.М. Шепетько, И.О. Стома**  
Пролонгированное выделение вируса SARS-CoV-2 при инфекции COVID-19 у пациентов с онкогематологическими заболеваниями 151
- Ю.И. Ярец, Н.И. Шевченко, О.П. Логинова**  
Особенности чувствительности к антимикробным лекарственным средствам изолятов бактерий, полученных из раневого отделяемого пациентов с обширными и локальными ранами 157

**Обмен опытом**

- Ж.М. Козич, В.Н. Мартинков, Ю.И. Ярец, Ж.Н. Пугачева, Д.А. Близин, Л.А. Смирнова**  
Галектин-3 как маркер поражения почек при моноклональной гаммапатии неуточненного значения и множественной миеломе у жителей Гомельского региона Беларуси 168
- Э.В. Могилевец, П.В. Гарелик, Л.Ф. Васильчук, Р.Э. Якубцевич, И.Н. Невген**  
Трансъюгулярное портосистемное шунтирование в собственной модификации (Предварительное сообщение о серии случаев) 175

**Experience exchange**

- Zh.M. Kozich, V.N. Martinkov, Yu.I. Yarets, Zh.N. Pugacheva, D.A. Blizin, L.A. Smirnova**  
Galectin-3 as a marker of kidney damage in monoclonal gammopathy of undetermined significance and multiple myeloma in residents of the Gomel region of Belarus
- E.V. Mahiliavets, P.V. Harelik, L.F. Vasilchuk, R.E. Yakubceovich, I.N. Nevgen**  
Transjugular intrahepatic portosystemic shunt in our own modification (Case series preliminary report)

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗУ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В СИТУАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

<sup>1</sup>ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель, Беларусь;  
<sup>2</sup>УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь

Для поддержки долгосрочного планирования действий и ресурсов по оптимизации мер радиационной и социальной защиты населения и реабилитации территорий в отдаленном периоде после Чернобыльской аварии требуются долгосрочные прогнозы уровней облучения населения.

Анализ рабочих материалов документа МАГАТЭ «Прогноз доз облучения населения и его критических групп в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС» [1] и результаты собственных многолетних исследований позволили разработать методический подход прогноза доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях Беларуси, на отдаленный период 40-50 лет после Чернобыльской аварии.

Для оценки прогнозной годовой эффективной дозы внешнего облучения определены прогнозные значения коэффициента связи дозы внешнего облучения репрезентативного лица с плотностью загрязнения территории населенного пункта <sup>137</sup>Cs на 2026, 2031 и 2036 годы.

Для оценки прогнозной годовой эффективной дозы внутреннего облучения получены зависимости относительной дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей населенного пункта от времени.

**Ключевые слова:** населенный пункт, репрезентативное лицо, доза внешнего облучения, доза внутреннего облучения, средняя прогнозируемая годовая эффективная доза облучения

### Введение

Спустя 35 лет после Чернобыльской аварии население загрязненных радионуклидами территорий продолжает подвергаться хроническому послеварийному облучению.

В отдаленном периоде после аварии на ЧАЭС доза внешнего облучения за счет чернобыльских радиоактивных выпадений практически полностью обусловлена  $\gamma$ -излучением пары радионуклидов <sup>137</sup>Cs + <sup>137m</sup>Ba. Дальнейшее уменьшение мощности дозы внешнего облучения в антропогенной среде со временем обусловлено:

- физическим распадом радионуклида <sup>137</sup>Cs;
- естественными процессами миграции;
- хозяйственной деятельностью населения в антропогенной среде;

- различными противорадиационными мероприятиями.

В настоящее время доза внутреннего облучения населения практически полностью формируется за счет поступления <sup>137</sup>Cs в организм с пищевыми продуктами. Относительный вклад <sup>90</sup>Sr в дозу внутреннего облучения населения невелик – доли процента, хотя этот вклад в прогнозируемую дозу может со временем несколько возрасти [2, 3, 4]. Вклад в дозу внутреннего облучения, обусловленный изотопами плутония и америция, пренебрежимо мал и составляет тысячные доли процента [5].

В отношении внутреннего облучения отдаленный период времени после аварии характеризуется замедлением процессов естественного снижения содержания радионуклидов в пищевых продуктах.

В то же время существенно возросла роль природных пищевых продуктов во внутреннем облучении населения. В некоторых регионах вклад природных пищевых продуктов в дозу внутреннего облучения населения достигает 70-80%. В первую очередь, это обусловлено мало меняющимся со временем после 1986 года содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в лесных грибах, традиционно составляющих часть пищевого рациона жителей большинства пострадавших регионов [5, 6, 7].

В качестве радиологической величины для поддержки долгосрочного планирования мер радиационной и социальной защиты населения, используют среднюю прогнозируемую годовую эффективную дозу облучения у жителей населенных пунктов.

За период с 1986 по 2019 гг. население, постоянно проживающее на загрязненных территориях, уже подверглось облучению в дозе, составляющей более 80% от дозы за жизнь (условно 70 лет после Чернобыльской аварии) [5]. Прогноз относится, соответственно, к оставшимся ~ 20% – 10% дозы, которая будет получена населением в течение последующих 50 лет.

**Цель исследования:** разработать методический подход прогноза доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях Беларуси, для долгосрочного планирования действий и ресурсов по оптимизации мер радиационной и социальной защиты населения в отдаленный период после Чернобыльской аварии.

### **Материал и методы исследования**

Материалом для проведения исследования явилось:

- данные Государственного дозиметрического регистра о дозах внутреннего облучения, рассчитанные по результатам измерений на спектрометре излучения человека (СИЧ-измерений) жителей Гомельской области за период 2017-2019 гг.;
- прогнозные данные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружа-

ющей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь о средних плотностях загрязнения территории населенных пунктов  $^{137}\text{Cs}$  на 2021 год;

- данные по типу населенного пункта, в котором постоянно проживает население.

Методы прикладной статистики: дисперсионный анализ, корреляционный и регрессионный анализ, классификация объектов.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ статистического анализа STATISTICA 8.0 и MS EXCEL 2010.

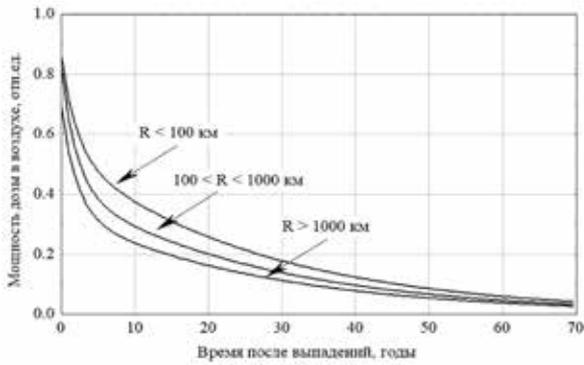
### **Результаты исследования**

В соответствии с международными рекомендациями в области радиационной безопасности прогноз средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов, находящихся на радиоактивной территории, следует проводить в отношении репрезентативного лица, которое эквивалентно и заменяет среднего члена наиболее облучаемой группы жителей населенного пункта.

#### Прогноз дозы внешнего облучения

Согласно результатам экспериментов и материалам натуральных наблюдений после глобальных радиоактивных выпадений с 1960-х гг. и после Чернобыльской аварии динамика снижения мощности дозы гамма-излучения  $^{137}\text{Cs} + ^{137\text{m}}\text{Ba}$  в воздухе на открытой местности за счет естественной вертикальной миграции радионуклидов в почве [5, 8, 9] представлена на рисунке 1.

Наиболее корректным методом оценки средней годовой эффективной дозы внешнего облучения в населенных пунктах различного типа является метод индивидуального дозиметрического контроля с помощью термоллюминесцентной дозиметрии (ТЛД), который стали применять в Беларуси и России, начиная с 1991 года. Поскольку в отдаленном периоде после аварии этот метод целесообразно было применять только на



**Рисунок 1** – Прогнозируемая зависимость мощности поглощенной дозы в воздухе над целинной почвой от времени после выпадений и от расстояния R до Чернобыльской АЭС [8]. Мощность дозы нормирована на мощность дозы от плоского источника на границе раздела воздух-почва

территории с плотностью загрязнения цезием более 444 кБк/м<sup>2</sup> [2], а таких населённых пунктов было менее 20 уже к 2010-2014 гг., то начиная с 2015 года для оценки средней годовой эффективной дозы внешнего облучения применяли метод экстраполяции данных эмпирически полученного коэффициента связи дозы внешнего облучения с плотностью загрязнения территории.

Годовая эффективная доза внешнего облучения репрезентативного лица оценивается расчетным методом с использованием эмпирически полученного коэффициента связи дозы внешнего облучения с плотностью загрязнения территории населенного пункта <sup>137</sup>Cs.

$$E_{RP}^{ext} = KF_s \cdot \sigma_{Cs}$$

где  $KF_s$  – коэффициент связи годовой эффективной дозы репрезентативного лица населенного пункта типа s со средней плотностью загрязнения территории населенного пункта <sup>137</sup>Cs, мЗв·год<sup>-1</sup>/кБк·м<sup>-2</sup> (мЗв·год<sup>-1</sup>/Ки·км<sup>-2</sup>);

$\sigma_{Cs}$  – средняя плотность загрязнения территории населенного пункта <sup>137</sup>Cs на определенный год, кБк/м<sup>2</sup> (Ки/км<sup>2</sup>).

Зависимость коэффициента связи дозы внешнего облучения от плотности загряз-

нения носит экспоненциальный характер и описывается уравнением  $KF_s = a \cdot e^{-c \cdot t}$ .

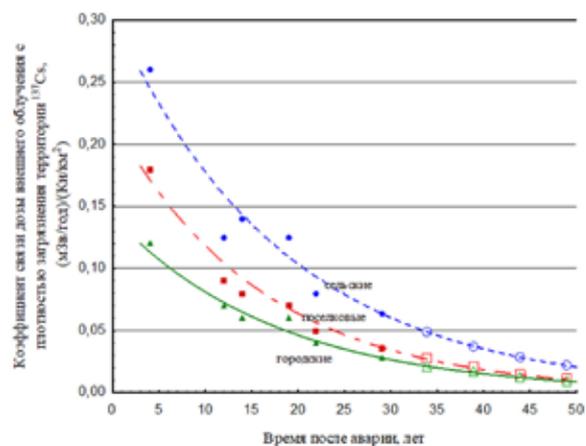
Параметры уравнения представлены в таблице 1.

Учитывая факт монотонного снижения со временем значения коэффициента связи дозы внешнего облучения репрезентативного лица с плотностью загрязнения территории населённого пункта, а также исходя из целесообразности и преемственности в оценке средней годовой эффективной дозы внешнего облучения, коэффициент связи может быть получен методом экстраполяции на период до 2036 года.

На рисунке 2 представлены прогнозные значения коэффициента связи дозы внешнего облучения с плотностью загрязнения на 2026, 2031, 2036 гг.

**Таблица 1** – Параметры уравнения экспоненциальной зависимости коэффициента связи дозы внешнего облучения от плотности загрязнения

Тип населенного пункта	Параметры уравнения		Коэффициент корреляции (уровень значимости)
	a	c	
Сельский	0,305	0,054	0,92 (p = 0,01)
Поселковый	0,220	0,062	0,93 (p < 0,01)
Городской	0,143	0,056	0,95 (p < 0,01)



**Рисунок 2** – Коэффициент связи дозы внешнего облучения репрезентативного лица среди жителей сельских, поселковых и городских населенных пунктов с плотностью загрязнения территории <sup>137</sup>Cs на период до 2036 года

**Таблица 2** – Прогнозные значения коэффициента связи  $KF_s$  дозы внешнего облучения репрезентативного лица среди жителей населённого пункта с плотностью загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  на 2026, 2031 и 2036 гг. ( $\text{мЗв/кБк}\cdot\text{м}^{-2}$  ( $\text{мЗв/Ки}\cdot\text{км}^{-2}$ ))

Тип населенного пункта	Год		
	2026	2031	2036
Сельский	$1,0\cdot 10^{-3}$ (0,037)	$0,8\cdot 10^{-3}$ (0,028)	$0,6\cdot 10^{-3}$ (0,022)
Поселковый	$0,5\cdot 10^{-3}$ (0,020)	$0,4\cdot 10^{-3}$ (0,014)	$0,3\cdot 10^{-3}$ (0,011)
Городской	$0,4\cdot 10^{-3}$ (0,016)	$0,3\cdot 10^{-3}$ (0,012)	$0,2\cdot 10^{-3}$ (0,009)

В таблице 2 представлены прогнозные значения коэффициента связи дозы внешнего облучения репрезентативного лица среди жителей населённого пункта с плотностью загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  на 2026, 2031 и 2036 гг.

Прогноз дозы внутреннего облучения

Населенные пункты Республики Беларусь, расположенные на территории радиоактивного загрязнения, были классифицированы на 3 региона по прямым и косвенным факторам, формирующим дозу внутреннего облучения, таким как: коэффициенты перехода радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в основные продукты питания (молоко, свинина и говядина, картофель, грибы) и кислотность почв; численность жителей в населенном пункте и удельная плотность леса в ареале населенного пункта (площадь леса в радиусе 3 км вокруг населенного пункта, отнесенная к числу жителей) [3].

Для каждого региона были установлены регрессионные зависимости средних годовых доз внутреннего облучения репрезентативного лица, рассчитанных по результатам СИЧ-измерений, от плотности загрязнения территории населенного пункта  $^{137}\text{Cs}$ .

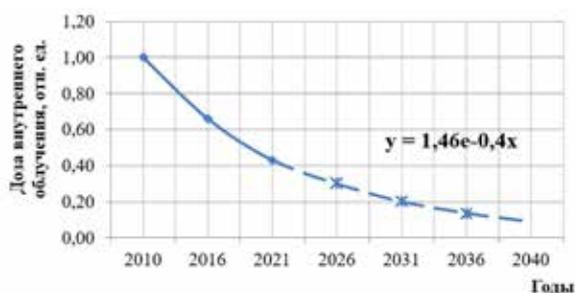
Диапазон значений плотности загрязнения территорий населенных пунктов в каждом регионе был разбит на 6 интервалов: 37-62; 63-106; 83-179; 180-302; 303-511; >511  $\text{кБк/м}^2$ . Отсчет начинается от величины плотности загрязнения в 37  $\text{кБк/м}^2$ , ширина интервала составила  $\pm 30\%$  от

среднего значения плотности загрязнения в интервале, конец предыдущего совпадает с началом последующего интервала.

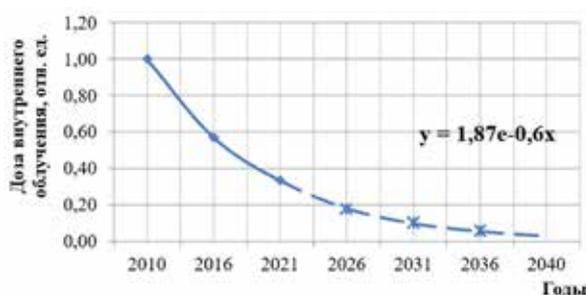
Для каждого населенного пункта в заданном интервале значения дозы внутреннего облучения репрезентативного лица (ранее – среднее значение дозы внутреннего облучения в критической группе) усреднили и сопоставили со средним значением плотности загрязнения территории в соответствующем интервале. Динамика изменения относительной усреднённой дозы внутреннего облучения лиц критической группы среди жителей населённого пункта (2010 год, 2016 год), затем репрезентативного лица среди жителей населённого пункта (2021 год) была исследована в каждой из 6 групп населенных пунктов по интервалам дозы каждого региона. Как оказалось, кривые зависимости каждой из 6 групп по интервалам дозы подчиняются экспоненциальному закону и практически совпадают, т. е. параметры уравнения одни и те же. Это наблюдается во всех регионах.

Для каждого региона получены зависимости относительной дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей населённого пункта от времени (см. рисунки 3-5). Начальной точкой отсчета является 2010 год, т.е. период, когда впервые были получены оценки средней дозы внутреннего облучения у лиц наиболее облучаемой группы в населённом пункте, основанные на результатах СИЧ-измерений.

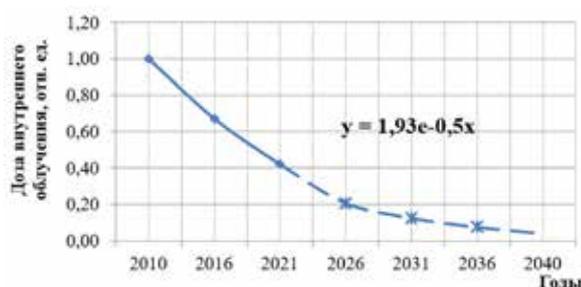
Таким образом, проведенный анализ позволил разработать методический подход прогноза доз внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей населённого пункта. Исходным значением для прогноза дозы является значение средней эффективной дозы у жителей населенного пункта в 2010 году. Рассчитав по соответствующему каждому региону уравнению относительную дозу (т.е. коэффициент, на который нужно умножить значение дозы, относящееся к 2010 году), можно получить прогнозные значения дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей каждого населённого пункта.



**Рисунок 3** – Зависимость относительной дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей населённого пункта для Полесского региона



**Рисунок 4** – Зависимость относительной дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей населённого пункта для Центрального региона



**Рисунок 5** – Зависимость относительной дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей населённого пункта для Северо-Восточного региона

### Заключение

Проведенный анализ рабочих материалов документов МАГАТЭ в части прогноза доз облучения населения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС и результаты собственных многолетних иссле-

дований позволили разработать методический подход прогноза доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, на период до 2036 года.

Для оценки прогнозной годовой эффективной дозы внешнего облучения определены прогнозные значения коэффициента связи дозы внешнего облучения репрезентативного лица с плотностью загрязнения территории населенного пункта  $^{137}\text{Cs}$  на 2026, 2031 и 2036 годы.

Для оценки прогнозной годовой эффективной дозы внутреннего облучения получены зависимости относительной дозы внутреннего облучения репрезентативного лица среди жителей населенного пункта от времени для любого региона.

Разработанный методический подход прогноза доз облучения населения послужит методической основой для создания в 2022 году Единого каталога средних годовых эффективных доз облучения репрезентативных лиц среди жителей населенных пунктов России и Беларуси, находящихся на приграничных территориях радиоактивного загрязнения, включающего: средние годовые эффективные дозы облучения репрезентативных лиц среди жителей населенных пунктов России и Беларуси, находящихся на приграничных территориях радиоактивного загрязнения; прогноз доз облучения населения, проживающего на приграничных радиоактивно загрязненных территориях России и Беларуси, на период до 2036 года.

### Библиографический список

1. Прогноз доз облучения населения и его критических групп в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / М.И. Балонов [и др.] // Рабочие материалы МАГАТЭ по ТС проекту RER/3/004/. – Вена, Австрия, 2010. – 30 с.
2. Cesium and strontium radionuclide migration in the agricultural ecosystem and estimation doses to the population / V.N. Shutov [et al.] // The Chernobyl Papers, Research enterprises. – Vashington, 1993. – Vol. 1. – p. 167-218.

3. Создать Каталог среднегодовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения: отчёт о НИР (заключ.) / Научное обеспечение решения медицинских проблем последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС/ ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ»; рук. темы Н.Г. Власова. – Гомель, 2008. – 118 с. – ГР № 20082092.

4. Развитие единой системы оценки и прогноза доз облучения населения с учетом международных подходов: отчёт о НИР (заключ.) / Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года / ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ»; рук. темы Н.Г. Власова. – Гомель, 2015. – 160 с. – ГР № 20141378.

5. International Atomic Energy Agency. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their remediation: Twenty years of experience / Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment». – Vienna: IAEA, 2006. – 180 с.

6. Оценка средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь, для целей зонирования / Инструкция по применению: утв. Министерством здравоохранения Республики Беларусь 27.06.2008 г., № 044–0508. – Гомель, 2008. – 16 с.

7. The role of mushrooms and berries in the formation of internal exposure doses to the population of Russia after the Chernobyl accident / V.N. Shutov [et al.] // Radiat. Prot. Dosimetry – Oxford University Press, 1996. – Vol. 67(1). – p. 55-64.

8. Joint Study Project No.5 «Pathway Analysis and Dose Distributions»: final report / EC, EUR 16541 EN; edited by P. Jacob and I. Likhtarev. – Luxembourg, 1996. – 130 с.

9. Miller, K.M. Cs-137 fallout depth distributions in forest versus field sites: implication for external dose rates. / K.M. Miller, I.L. Kuiper, I.K. Helfer // J. Environ Radioactivity. – Amsterdam: Elsevier, 1990. – № 12. – p. 23-47.

L.N. Eventova, A.N. Mataras, G. N. Evtushkova, E.A. Drozd, N. G. Vlasova

#### METHODOLOGICAL APPROACH FOR PREDICTING THE EXPOSURE DOSES TO THE POPULATION IN THE EXISTING EXPOSURE SITUATION

Long-term predictions of exposure levels to the population are required in order to support long-term planning of actions and resources on optimization of measures for radiation and social protection of the population and rehabilitation of territories in the remote period after the Chernobyl accident.

Analysis of working materials of the IAEA document «Prediction of radiation doses to the population and its critical groups in the remote period after the Chernobyl accident» and the results of our own long-term studies have made it possible to develop a methodological approach for predicting exposure doses to the population living in radioactively contaminated territories of Belarus for a remote period of 40-50 years after the Chernobyl accident.

The predicted values of the coefficient of the relation between the external exposure dose of a representative person and the density of contamination of the settlement territory with  $^{137}\text{Cs}$  for 2026, 2031 and 2036 were determined in order to assess the predicted annual effective external exposure dose.

We obtained the dependences of the relative internal exposure dose of a representative person in settlement residents versus time to assess the predicted annual effective internal exposure dose.

**Key words:** settlement, representative person, external dose, internal dose, average predicted annual effective exposure dose

Поступила 23.03.21