

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(32)

2024 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 27.09.24
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 120 экз.
Усл. печ. л. 21,25. Уч.-изд. л. 12,94.
Зак. 524.

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., профессор)

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), Н.Н. Веякина (к.б.н., отв.
секретарь), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко
(к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.),
С.В. Зыблева (д.м.н., доцент), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор),
А.В. Коротаяев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызинов (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.), 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., профессор), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец
(к.м.н., доцент)

Редакционный совет

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

Технический редактор

С.Н. Никонович

Корректор

Н.Н. Юрченко

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», 2024

№ 2(32)

2024

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, С.В. Зыблева, А.В. Жарикова,
В.М. Мицура, Н.Н. Багинская**

Роль государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» в системе здравоохранения и перспективы его развития

7

Э.В. Вист, А.В. Бойко, М.М. Селицкий

Воспаление как движущая сила нейродегенерации. Основы персонализированной диагностики и лечения (обзор литературы)

15

**Ж.М. Козич, В.Н. Мартинков, Н.Н. Климович,
Т.В. Руденкова, С.А. Костюк,
Н.В. Сердюкова**

Новые подходы в диагностике и терапии множественной миеломы (обзор литературы)

23

Н.И. Тимофеева, Е.Г. Жук

Оценка жесткости паренхимы почечного аллотрансплантата сдвиговой волновой соноэластографией (обзор литературы)

29

Медико-биологические проблемы

**Т.Э. Владимирская, И.Э. Адзериho,
А.М. Устемчук**

Оценка эндотелиального апоптоза в легочных артериях крыс с монокроталин-индуцированной легочной артериальной гипертензией

37

**Н.Г. Власова, К.Н. Буздалькин, Л.Н. Эвентова,
А.Н. Матарас, Г.Н. Евтушкова,
Д.Б. Куликович**

Реконструкция индивидуализированных доз внутреннего облучения в условиях неопределенности и неполных данных СИЧ-измерений

44

Д.Б. Куликович

Сравнительный анализ методов реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения населения, проживающего на радиоактивно-загрязненной территории

50

Reviews and problem articles

**A.V. Rozhko, S.V. Zybleva, A.V. Zharikova,
V.M. Mitsura, N.N. Baginskaya**

The role of state institution «Republican research center for radiation medicine and human ecology» in the healthcare system and its development prospects

E.V. Vist, A.V. Boika, M.M. Sialitski

Inflammation as a driving force of neurodegeneration. Fundamentals of personalized diagnostics and treatment

**Zh.M. Kozich, V.N. Martinkov, N.N. Klimovich,
T.V. Rudenkova, S.A. Kostyuk,
N.V. Serdyukova**

New approaches in the diagnosis and treatment of multiple myeloma (review)

N.I. Timofeeva, E.G. Zhuk

Shear wave ultrasound elastography in assessing the stiffness of the renal allograft parenchyma (literature review)

Medical-biological problems

**T.Ye. Vladimirskaja, I.Ye. Adzeriho,
A.M. Ustemchuk**

Assessment of endothelial apoptosis in the pulmonary arteries of rats with monocrotaline-induced pulmonary arterial hypertension

**N.G. Vlasova, K.N. Buzdalkin, L.N. Eventova,
A.N. Mataras, G.N. Yevtushkova,
D.B. Kulikovich**

Reconstruction of individualized radiation doses under conditions of uncertainty and incomplete of whole-body γ -spectrum analyzer measurement data

D.B. Kulikovich

Comparative analysis of methods for reconstruction of individualized external exposure doses to population living in a radioactively contaminated territory

- Е.В. Мартищенко, Н.Д. Пузан, Г.З. Гутцева, И.А. Чешик**
 Результаты опроса респондентов Гомельской и Витебской областей относительно наиболее часто используемых в повседневной жизни устройств (видов связи) 58
- Е.К. Нилова, К.Н. Буздалкин**
 Методология экспресс-оценки радиационной обстановки с применением мобильной лаборатории 65
- Т.В. Переволоцкая, А.Н. Переволоцкий**
 Оценка радиационной обстановки и внешнего облучения работников лесного хозяйства при проведении работ в I и II зонах радиоактивного загрязнения 73
- Д.В. Чарнаштан, Ю.В. Бондарева, Ф.Н. Карпенко, М.П. Потапнев, Н.В. Чуешова, Н.Н. Веялкина, Н.Г. Мальцева, Э.А. Надыров, Д.А. Зиновкин, В.И. Николаев**
 Доклиническая оценка эффективности интрамедуллярной биокompозитной костной пластики в ранние сроки после имплантации бесцементного бедренного компонента эндопротеза тазобедренного сустава у лабораторных крыс 79
- Н.В. Чуешова, В.М. Щемелев, Е.А. Щурова, И.А. Чешик**
 Антиоксидантная система печени крыс-самцов на разных этапах онтогенеза в условиях хронического воздействия электромагнитного поля низкой интенсивности 87

Клиническая медицина

- А.Ю. Захарко, А.С. Подгорная, О.В. Мурашко, М.Ю. Жандаров, А.Р. Ромбальская**
 Анализ случаев гладкомышечных опухолей матки с неопределенным злокачественным потенциалом (STUMP) в ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека» 95

Clinical medicine

- A.Yu. Zaharko, A.S. Podgornaya, O.V. Murashko, M.Yu. Zhandarov, A.R. Rombalskaya**
 Analysis of cases of smooth muscle tumors of the uterus with uncertain malignant potential (STUMP) at the SI «Republican research center for radiation medicine and human ecology»

С.Л. Зыблев, А.Е. Силин, В.Н. Мартинков, С.В. Зыблева, А.В. Величко, Б.О. Кабешев		S.L. Zyblev, A.E. Silin, V.N. Martinkov, S.V. Zybleva, A.V. Velichko, B.O. Kabeshev	
Динамика уровня такролимуса у реципиентов почечного трансплантата	100	Dynamics of tacrolimus levels in renal transplant recipients	
С.А. Иванов, О.Г. Хоров, А.М. Юрковский, А.С. Богомаз		S.A. Ivanov, O.G. Khorov, A.M. Yurkovsky, A.S. Bogomaz	
Замещение дефектов наружного носа с использованием хрящевых аллогraftов: послеоперационные осложнения и косметические результаты	105	Nasal defect reconstruction using cartilage allografts: postoperative complications and cosmetic outcomes	
Т.Х. Нгуен, Д.Ш. Нгуен, В.Д. Чан, Ф.К. Дао, Т.Б.Л. Нгуен, М.Т. Нгуен		T.H. Nguen, D.Sh. Nguen, V.D. Chan, F.K. Dao, T.B.L. Nguen, M.T. Nguen	
Распространенность респираторных симптомов у рабочих промышленных предприятий	111	Prevalence of respiratory symptoms in industrial workers	
И.А. Новикова, К.С. Макеева, Е.Ф. Мицура		I.A. Novikova, K.S. Makeyeva, E.F. Mitsura	
Параметры функциональной активности нейтрофилов у детей с наследственным сфероцитозом	121	Parameters of neutrophil functional activity in children with hereditary spherocytosis	
Э.А. Повелица, О.В. Пархоменко, В.А. Рожко, В.А. Доманцевич, А.В. Доманцевич, А.А. Чулков, А.М. Шестерня, О.Г. Жариков		E.A. Povelitsa, O.V. Parhomenko, V.A. Rohko, V.A. Domantsevich, A.V. Domantsevich, A.A. Chulkov, A.M. Shesternya, O.G. Zharikov	
Хирургическое лечение андрогенитальных проявлений варикозной болезни малого таза	127	Surgical treatment of androgenital manifestations of pelvic vein disease	
Э.А. Повелица, О.В. Пархоменко, В.А. Рожко, В.А. Доманцевич, А.М. Шестерня		E.A. Povelitsa, O.V. Parhomenko, V.A. Rozhko, V.A. Domantsevich, A.M. Shesternya	
Микрохирургическая флебэктомия вен семенного канатика с использованием системы визуализации 3d NGENUITY	136	Microsurgical phlebectomy of the spermatic cord veins using the 3d NGENUITY visualization system	
Е.В. Родина, Д.И. Гавриленко, Н.И. Корженевская, О.А. Романива, А.П. Саливончик, Н.Г. Кадочкина, С.Н. Коржева, Е.В. Семеняго, Е.П. Науменко		A.V. Rodzina, D.I. Haurylenka, N.I. Korzhaneuskaya, A.A. Romaniva, A.P. Salivontchik, N.G. Kadotchkina, S.N. Korzhava, Ye.V. Semeniah, A.P. Naumenka	
Структурно-функциональные изменения сердца у пациентов, перенесших ИНФЕКЦИЮ COVID-19	142	Structural and functional cardiac changes in patients with COVID-19 infection	
А.А. Чулков, З.А. Дундаров, А.В. Величко, Б.О. Кабешев, Э.А. Повелица, Я.Л. Навменова, Ю.И. Ярец		A.A. Chulkov, Z.A. Dundarov, A.V. Velichko, B.O. Kabeshev, E.A. Povelitsa, Ya.L. Navmenova, Yu.I. Yarets	
Клинико-лабораторная оценка функции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси у пациентов после унилатеральной адреналэктомии	148	Clinical and laboratory evaluation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis function in patients after unilateral adrenalectomy	

Обмен опытом**Experience exchange****А.В. Жарикова, Н.В. Лысенкова**

Мультидисциплинарный подход — залог успешности лечения пациентов с хронической мигренью

154

А.С. Подгорная, А.Ю. Захарко, О.В. Мурашко, В.Н. Калачев

ACUM — редкая мюллеровая патология (клинический случай)

161

Н.В. Холупко, Я.Л. Навменова, Е.С. Махлина, А.В. Коротаев, А.В. Рожко

Амиодарон-индуцированный тиреотоксикоз: клинический случай

167

A.V. Zharikova, N.V. Lysenkova

Multidisciplinary approach is the key to successful treatment of patients with chronic migraine

A.S. Podgornaya, A.Yu. Zakharko, O.V. Murashko, V.N. Kalachev

ACUM — rare mullerian pathology (clinical case)

N.V. Kholupko, Ya.L. Navmenova, E.S. Makhlina, A.V. Korotaev, A.V. Rozhko

Amiodarone-induced thyrotoxicosis: a clinical case

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

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

Сравнительный анализ применяемых методов реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения населения, проживающего на загрязнённой радионуклидами территории в следствие аварии на ЧАЭС, показал, что консервативные подходы реконструкции доз негативно сказываются на прогнозе последних в целом. Предлагаемый новый метод реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения методически согласуется со своими аналогами, но при этом позволяет учесть не только прямой дозоформирующий фактор (плотность загрязнения населённого пункта), но и косвенные факторы в совокупности (профессиональная занятость, гендерная принадлежность и возраст), что позволяет выполнить реконструкцию индивидуализированных доз внешнего облучения за каждый исследуемый год с минимальной ошибкой. Корреляционный анализ показал, что между модельными оценками нового метода и данными индивидуального дозиметрического контроля наблюдается высокая корреляционная связь (коэффициент корреляции Спирмена варьирует от 0,77 до 0,85; $p < 0,05$), при этом средняя ошибка оценки доз с использованием нового метода ~ в 4 раза ниже, чем у его аналогов.

Ключевые слова: *доза внешнего облучения, индивидуальный дозиметрический контроль, индивидуализированная доза, реконструкция, группа профессиональной занятости*

Введение

Для проведения исследований медико-биологических последствий аварии на ЧАЭС и оценки эффектов радиационного воздействия на здоровье человека и популяции в целом необходимо уделять особое внимание реконструкции индивидуализированных доз облучения, поскольку наличие или отсутствие эффектов может быть доказано путем проведения радиационно-эпидемиологических исследований, а оценка эффектов не может быть получена без знания индивидуальных доз облучения [1].

Для обеспечения проведения такого рода исследований необходимо применять адекватные методические подходы реконструкции доз облучения, так как большинство методик базируются исключительно на прямых факторах дозоформирования и не учитывают социально обусловленное

поведение индивида, что приводит к неоднозначности оценки последней, поскольку именно индивид и его социально-демографические параметры — «ведущий фактор» дозоформирования [2-3].

Индивидуальный дозиметрический контроль (далее — ИДК) с точки зрения точности и надежности является лучшим способом получения информации о дозе облучения людей. Однако на практике сложно собрать данные о дозах облучения лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС, за весь послеаварийный период [4-6]. В таких ситуациях реконструкция доз осуществляется с применением соответствующих методик [7-11], которые, в большинстве случаев, являются сверхконсервативными и не соответствуют задаче индивидуализации доз, поскольку ошибки оценочных параме-

тров могут достигать 300% и более [12-13]. Консерватизм заключается в том, что при реконструкции доз не учитывается социально-обусловленное поведение индивида.

Ранее было статистически обосновано и доказано, что индивидуальная доза внешнего облучения зависит не только от плотности загрязнения радионуклидами территории проживания и жизнедеятельности индивида, но и от профессиональной занятости, пола и возраста индивида в совокупности [14-16].

Вышеизложенное определяет необходимость прогнозной оценки доз с использованием статистического моделирования, в связи с чем разработан новый метод реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения лиц, проживающих на загрязненной радионуклидами территории [17]. В основе этого метода — уравнение, полученное методом множественной линейной регрессии, которое учитывает как прямой фактор дозоформирования (плотность поверхностного загрязнения территории населенного пункта (далее — НП) по ^{137}Cs), так и косвенные факторы (профессиональную занятость, пол и возраст индивида) и тем самым позволяет отойти от консервативной оценки.

Цель исследования — провести реконструкцию индивидуализированных доз внешнего облучения населения, проживающего на загрязненной радионуклидами территории, с применением различных методических подходов, тем самым показав преимущество нового метода перед остальными.

Материал и методы исследования

Материалами исследования явились «База данных накопленных эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь», рег. свидетельство №5870900638 от 21.05.2009, «База данных плотности загрязнения территории населенных пунктов Республики Беларусь радионуклидами цезия, стронция и плутония по состоянию на 1986 год», рег. свидетельство №58709000639 от 20.05.2009.

Для проведения сравнительного анализа была сформирована референсная выборка (225 человек) лиц молодого и среднего возраста по классификации Всемирной организации здравоохранения [18], проживающих в 2005 и 2006 гг. в населенных пунктах Костюковичского, Краснопольского, Славгородского и Чериковского районов Могилевской области, находящихся на территории с примерно одинаковым уровнем загрязнения по ^{137}Cs .

Выбор исследуемого временного периода обусловлен тем, что для корректного проведения ИДК необходимо соблюдать ряд условий, в том числе и плотность поверхностного загрязнения ^{137}Cs выше 444 кБк/м² [19], в связи с чем не всегда есть возможность выполнения данной трудоемкой процедуры.

Выборка сформирована с учётом представительности по типу профессиональной занятости сельского населения и по полу и возрасту, что статистически обосновано оказывает влияние на формирование индивидуальной дозы внешнего облучения [6, 16].

Реконструкция индивидуализированных доз внешнего облучения жителей из референсной выборки проведена по 4 методикам.

1. «Методические основы прогноза уровней облучения населения от радионуклидов цезия при постоянном проживании на территориях, загрязнённых в результате аварии на ЧАЭС» [9] (далее — Метод 1).

Прогнозирование годовых доз облучения за исследуемый период проведено по модели, учитывающей радиоактивный распад и заглупление радионуклидов цезия со временем, с учетом реального соотношения активности ^{134}Cs и ^{137}Cs на 1988 г. по формуле 1.

$$\text{Доза}_{\text{внеш.}}(t) = d_0(1988) \cdot (0,7e^{-0,3t} + 0,3e^{-0,028t}) \quad (1)$$

где:

$\text{Доза}_{\text{внеш.}}$ — годовая доза внешнего облучения за исследуемый год, мЗв/год;

d_0 — годовая доза в 1988 г., равная 0,28(137σ), мЗв/год;

t — время (лет) с 1988 г., $t \geq 2$;

$^{137}\sigma$ — плотность поверхностного загрязнения ^{137}Cs , Ки/км².

2. «Получение индивидуальных накопленных доз с использованием содержащихся в региональной базе данных доз облучения населения». Методические указания. МУ 2.6.1.3295-15 [10] (далее — Метод 2).

Индивидуализированная годовая эффективная доза внешнего облучения (далее — ИГЭД) жителя населенного пункта за исследуемый год определялась как произведение средней годовой эффективной дозы (далее — СГЭД) внешнего облучения в населенном пункте, в котором проживает индивид в исследуемом году, на фактор учета доли времени его проживания в НП исследуемого года, на коэффициент-поправку на социальный статус данного жителя и на тип дома, в котором проживает данный житель в НП в оцениваемом году. В качестве СГЭД внешнего облучения в НП в расчётном году используется среднее для данного НП за исследуемый год значение годовой эффективной дозы внешнего облучения. Расчет можно осуществить по формуле 2.

$$\text{ИГЭД}_{\text{внеш}} = \text{СГЭД}_{\text{внеш}} \cdot \alpha \cdot \beta \quad (2)$$

где:

$\text{ИГЭД}_{\text{внеш}}$ — индивидуализированная годовая эффективная доза внешнего облучения за исследуемый год, мЗв/год;

$\text{СГЭД}_{\text{внеш}}$ — средняя годовая эффективная доза внешнего облучения в НП, где проживает индивид, мЗв/год;

α — фактор учета доли времени проживания индивида в НП исследуемого года (определяется из дополнительных данных, представленных в соответствии с разделом 3 МУ);

β — поправка на социальный статус индивида (значения данного коэффициента зависят от типа населенного пункта, типа профессиональной группы и типа строения, в котором проживает индивид, согласно разделу 5 МУ).

3. «Метод реконструкции индивидуализированных накопленных доз облучения, включенных в Государственный

регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий». Инструкция по применению [11] (далее — Метод 3).

Индивидуализация доз внешнего облучения определялась по уравнению 3.

$$E^{\text{ext}} = \text{KF}_{s,i} \cdot \sigma \cdot k_3 \quad (3)$$

где: E^{ext} — индивидуализированная доза внешнего облучения за исследуемый год, мЗв/год.;

$\text{KF}_{s,i}$ — коэффициент перехода от величины средней плотности загрязнения по ^{137}Cs территории населённого пункта типа s к средней годовой дозе внешнего облучения жителей НП (дозовый коэффициент), мЗв·год⁻¹/кБк·м⁻²;

σ — плотность загрязнения территории НП по ^{137}Cs в исследуемом году, кБк·м⁻²;

k_3 — коэффициент индивидуализации, отн. ед.

4. «Метод реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения лиц, проживающих на загрязненной радионуклидами территории вследствие аварии на ЧАЭС» [17] (далее — Метод 4).

Реконструкция доз с применением нового метода основана на статистической модели множественной линейной регрессии, которая описывается уравнением 4.

$$E_i^{\text{ext}} = K_{\text{reduce}_j} \cdot e^{(b_i + [k_{1_i} \cdot \ln(\frac{\sigma}{\sigma_0})] + [k_{2_i} \cdot G] + [k_{3_i} \cdot A])} \quad (4)$$

где: E_i^{ext} — индивидуализированная годовая доза внешнего облучения лица, относящегося к соответствующей i -той группе профессиональной занятости (далее — ГПЗ), мЗв·год⁻¹;

b_i — свободный член уравнения регрессии для i -той группы профессиональной занятости, мЗв·год⁻¹;

$k_{1_i}, k_{2_i}, k_{3_i}$ — коэффициенты регрессии, соответствующие каждому объясняющему фактору для i -той группы профессиональной занятости, отн. ед.;

σ — плотность загрязнения территории по ^{137}Cs исследуемого населённого пункта, кБк·м⁻²;

G — гендерная принадлежность индивида (используется бинарная классификация: 0 — женщины, 1 — мужчины);

A — возраст, количество полных лет;
 $K_{reducej}$ — коэффициент снижения дозы внешнего облучения для j -того типа НП, отн. ед.

Выявленные ранее группы профессиональной занятости [6, 16-17] в сформированной референсной выборке представлены следующим образом: ГПЗ 3 — служащие административного аппарата, дозиметрист, врач, фельдшер, лаборант и санитарка; ГПЗ 4 — агроном, водитель, животновод, зоотехник, рабочий, тракторист, механизатор; ГПЗ 5 — полевод.

Статистическая обработка данных проводилась методами прикладной статистики с использованием MS Excel и программного пакета для статистического анализа Statistica 12.0 (StatSoft, USA). Для данных, распределение которых отлично от нормального, в качестве описательных статистик рассчитывали медиану, нижний и верхний квартили индивидуальной/индивидуализированной дозы внешнего облучения. Сила линейной корреляционной связи между двумя выборками определялась непараметрическим тестом Спирмена (r_s). Согласованность методов определялась коэффициентом конкордации Кендалла (W ; p) [20]. Уровень значимости принят равным 0,05.

Результаты исследования

Для проведения сравнительного анализа реконструированных индивидуализированных доз внешнего облучения с данными ИДК были оценены основные параметры распределения индивидуальной дозы внешнего облучения жителей референсной выборки в целом и по группам профессиональной занятости, которые представлены в таблице 1.

В таблице 2 представлен результат сравнительного анализа реконструированных индивидуализированных доз внешнего облучения с данными ИДК по четырем анализируемым методам.

Как видно из таблицы 2, реконструированные индивидуализированные дозы внешнего облучения по Методам 1–3 суще-

ственно отличаются от данных ИДК, при этом средняя ошибка оценки лежит в интервале от 40 до 60%. Дозы, реконструированные по Методу 4 напротив, имеют высокую корреляционную связь с данными ИДК, а ошибка оценки \sim в 4 раза ниже, чем у аналогов, указанных выше, и лежит в интервале 9–10%. Снижение ошибки обусловлено учетом информативных фактор-признаков, которые наряду с прямым фактором дозоформирования (плотность поверхностного загрязнения территории НП по ^{137}Cs) оказывают влияние на формирование индивидуальной дозы внешнего облучения. Из результата анализа видно, что попытки учесть дополнительные «косвенные» факторы дозоформирования обеспечивают снижение ошибки оценки доз Методами 2 и 3, но Метод 4 — более прогрессивен, что обеспечивает более корректную оценку.

Для оценки адекватности нового метода (Метод 4) были оценены параметры распределения индивидуальной дозы внешнего облучения в группах профессиональной занятости по данным ИДК и проведен сравнительный анализ реконструированных индивидуализированных доз внешнего облучения в соответствующих группах профессиональной занятости по сформированной выборке. Результат сравнительного анализа представлен в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, учет информативных фактор-признаков и классификация жителей НП, которые были подвержены радиационному воздействию после аварии на ЧАЭС, по совокупности информативных фактор-признаков обеспечивает снижение ошибки оценки доз, которая обусловлена отходом от консервативных подходов. Метод 1 — чистый консервативный подход и из результата анализа видно, что ошибка оценки варьирует от 50 до 56% по выборке и от 33 до 79% — в группах профессиональной занятости. Методы 2 и 3 — более прогрессивны в этом плане, поскольку содержат попытки учесть социально обусловленное поведение индивидов, но классификация лишь на две группы про-

Таблица 1 — Статистические параметры референсной выборки по данным ИДК

Параметр	Доза внешнего облучения, мЗв/год			
	По выборке в целом	По группам профессиональной занятости		
		ГПЗ 3	ГПЗ 4	ГПЗ 5
2005 год				
Медиана	0,26	0,25	0,27	0,29
Нижний квартиль	0,23	0,21	0,23	0,24
Верхний квартиль	0,30	0,26	0,30	0,31
2006 год				
Медиана	0,21	0,24	0,21	0,24
Нижний квартиль	0,20	0,23	0,20	0,24
Верхний квартиль	0,28	0,25	0,28	0,30

Таблица 2 — Параметры распределения реконструированных доз внешнего облучения и сравнение их с параметрами распределения данных ИДК

Параметр	Индивидуализированная доза внешнего облучения, мЗв/год**				
	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 4	ИДК
2005 год					
Медиана	0,31	0,38	0,20	0,26	0,26
Нижний квартиль	0,02	0,37	0,01	0,22	0,23
Верхний квартиль	0,45	0,39	0,29	0,31	0,30
Коэффициент корреляции Спирмена (r) *	0,50	0,53	0,51	0,77	-
Ошибка оценки, %	56	46	41	10	-
2006 год					
Медиана	0,22	0,37	0,14	0,22	0,21
Нижний квартиль	0,02	0,32	0,01	0,21	0,20
Верхний квартиль	0,44	0,38	0,25	0,28	0,28
Коэффициент корреляции Спирмена (r) *	0,56	0,46	0,57	0,77	-
Ошибка оценки, %	50	56	43	9	-

* — при сравнении с данными ИДК; $p < 0,05$;

** — для удобства восприятия реконструированные индивидуализированные дозы внешнего облучения представлены с точностью до сотых.

фессиональной занятости и базовый расчет от СГЭД (Метод 2) не соответствуют задаче индивидуализации доз, хотя ошибка оценки варьировала в ГПЗ от 37 до 72%. Метод 3 демонстрирует достаточно неплохой результат, но не учитывает профессиональной занятости, что сказывается на ошибке оценки доз, которая варьирует в диапазоне от 18 до 45%. Предлагаемый Метод 4 позволяет учесть косвенные факторы дозоформирования в полном объеме, что делает его более прогрессивным. При этом ошибка оценки лежит в интервале от 6 до 11%, что ~ 4 раза меньше по сравнению с аналогами.

Проведенный сравнительный анализ демонстрирует, что предлагаемый новый метод реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения полностью согласуется с рассмотренными выше методическими указаниями и инструкцией по применению (коэффициент конкордации Кендалла для 2005 и 2006 гг. $W=0,70$ и $W=0,72$ соответственно; $p < 0,001$), но, учитывая дозоформирующие факторы, позволяет отойти от консервативных подходов и средних оценочных параметров и с высокой точностью реконструировать индивидуализированные дозы внешнего облучения жителей, постоянно проживающих на

радиоактивно загрязнённой территории, за каждый послеаварийный год.

Заключение

Сравнительный анализ методических подходов реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения населения, проживающего на загрязнённой радионуклидами территории, показал, что применение консервативных подходов оценки доз облучения увеличивает ошибку оценки последних. Для обеспечения адекватности оценки индивидуализированных доз внешнего облучения необходимо учитывать социальные и демографические особенности индивида. Новый метод реконструкции доз внешнего облучения, который учитывает вышеизложенные факторы, не противоречит рассмотренным выше методам, но позволяет более точно оценить индивидуализированные дозы внешнего облучения, снижая оценку ошибки ~ в 4 раза, в сравнении с рассмотренными аналогами.

Библиографический список

1. Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes // Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Health». – Geneva: WHO Press; 2006. – 182 p.
2. Skryabin, A.M. Distribution of doses received in rural areas affected by the Chernobyl accident. JSP-2 task 5 / A. M. Skryabin [et al.] // Report NRPB-R277 National Radiological Protection Board. – UK: Chilton, 1995. – 52 p.
3. Optimization of health protection of the public following a major nuclear accident: interaction between radiation protection and social and psychological factors / P. T. Allen [et al.] // Health Phys. – 1996. – Vol. 71, No 5. – P. 763-765.
4. Матарас, А.Н. Методический подход оценки индивидуализированных доз внешнего облучения лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС / А.Н. Матарас, Л.Н. Эвентова, Ю.В. Висенберг, Н.Г. Власова // Проблемы здоровья и экологии. – 2014. – Т. 40, №2. – С. 91-96.
5. Muller, H. Ecosys-87: A Dynamic Model for Assessing Radiological Consequences of Nuclear Accidents / H. Muller, G. Prohl // Health Physics. – 1993. – Vol. 63, No 3. – P. 232-252.
6. Куликович, Д.Б. Статистический анализ факторов, оказывающих влияние на формирование дозы внешнего облучения / Д.Б. Куликович, Н.Г. Власова // Проблемы здоровья и экологии. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 99-105.
7. Реконструкция средней (индивидуализированной) накопленной эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году : Методические указания (Дополнение 2 к МУ 2.6.1.579-96). – Москва.: Роспотребнадзор, 2005. – 11 с.
8. Реконструкция средней накопленной в 1986-2001гг эффективной дозы облучения жителей населённых пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году: МУ 2.6.1.579-96. – Москва. – 1996.
9. Методические основы прогноза уровней облучения населения от радионуклидов цезия при постоянном проживании на территории, загрязнённых в результате аварии на ЧАЭС: Методические указания. – Москва: МЗ СССР, 1991. –72 с.
10. Получение индивидуальных накопленных доз с использованием содержащихся в региональной базе данных доз облучения населения. Методические указания. – М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015 – 21 с.
11. Метод реконструкции индивидуализированных накопленных доз облучения включенных в Государственный регистр лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий. Инструкция по применению: утв. Министерством здравоохранения Республики Беларусь 12.12.2014 г., № 095-0914. – Гомель. – 2014. – 8 с.
12. International Atomic Energy Agency. Working papers of the TC project RER/9/074 «Radiation monitoring of public exposure in the remote period after the accident at the Chernobyl nuclear power plant», Vienna. IAEA, 2007.
13. Effective doses due to external irradiation from the Chernobyl accident for different population groups of Ukraine /I. Likhariov [et al.] // Health Physics. – 1996. – Vol. 70, No 1. – P. 87-98.
14. Golikov, V.Yu. External Exposure of the Population Living in Areas of Russia Contaminated due to the Chernobyl Accident / Yu.V. Golikov, M.I. Balonov, P. Jacob // Radiation and Environmental Biophysics. – 2002. – V. 41. – P. 185-193.
15. Dose Assessment in Population Living on Contaminated Territories at the Remote Period after the Chernobyl Accident. International Conference on Global Emergency Preparedness and Response. International Atomic Energy Agency (IAEA) / N.G. Vlasova [et al.] // Book of Synopses. – IAEA Headquarters, Vienna, Austria, 19-23 October 2015. – Ref. No: CN-213. – P. 250-255.
16. Куликович, Д.Б. Выявление однородных по дозе внешнего облучения групп жителей загрязнен-

ных территорий по совокупности информативных фактор-признаков / Д.Б. Куликович, Н.Г. Власова // Проблемы здоровья и экологии. – 2023. – Т. 20, №1. – С. 123-130.

17. Куликович, Д.Б. Метод реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения лиц, проживающих на загрязненной радионуклидами территории вследствие аварии на ЧАЭС / Д.Б. Куликович, Н.Г. Власова, Ю.В. Висенберг, Б.К. Кузнецов // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2024. – № 1. – С. 46-57.

18. Козлова, О.А. Теоретические основания определения возрастных границ и возрастной струк-

туры населения в контексте демографического старения / О.А. Козлова, О.О. Секички-Павленко // AlterEconomics. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 442-463.

19. Методика выполнения измерений индивидуальных доз с помощью термолюминесцентного дозиметрического комплекта на основе детекторов Al O, для решения задач прикладного ИДК. Методические рекомендации. – Москва.: ИБФ МЗ СССР, инв. № Б-5454, 1991. – 28 с.

20. Мастицкий, С.Э. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R / С.Э. Мастицкий, В.К. Шитиков. – Москва: ДМК Пресс, 2015. – 496 с.

D.B. Kulikovich

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR RECONSTRUCTION OF INDIVIDUALIZED EXTERNAL EXPOSURE DOSES TO POPULATION LIVING IN A RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORY

A comparative analysis of the applied methods for reconstructing individualized external exposure doses for population living in an area contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident showed that conservative approaches to dose reconstruction have a negative impact on the prognosis of the latter in general. The proposed new method for reconstructing individualized external exposure doses is methodologically consistent with its analogues, but at the same time it allows taking into account not only the direct dose-forming factor (contaminated density), but also indirect factors in the aggregate (occupation, gender and age), which, in turn, makes it possible to reconstruct individualized external exposure doses for each year under research with minimal error. Correlation analysis showed that there is a high correlation between the model estimates of the new method and the data of individual dosimetric control (Spearman's correlation coefficient varies from 0,77 to 0,85; $p < 0,05$), while the average dose estimation error using the new method ~ 4 times lower than that of its analogues.

Key words: *external exposure dose, individual dosimetric control, individualized dose, reconstruction, occupational group*

Поступила 24.06.2024