

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(22)

2019 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 27.09.19
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 200 экз.
Усл. печ. л. 16,75. Уч.-изд. л. 9,54.
Зак. 331.

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), Н.Г. Власова (д.б.н., доцент, научный редактор),
А.В. Величко (к.м.н., доцент), И.В. Веякин (к.б.н., доцент),
А.В. Воропаева (к.м.н., доцент), Д.И. Гавриленко (к.м.н.),
В.В. Евсеенко (к.п.с.н.), С.В. Зыблева (к.м.н., отв. секретарь),
А.В. Жарикова (к.м.н.), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор),
И.Н. Коляда (к.м.н.), 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), Я.Л. Навменова (к.м.н.),
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), А.Н. Цуканов (к.м.н.),
Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец (к.м.н., доцент),

Редакционный совет

В.И. Жарко (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),
Е.Л. Богдан (МЗ РБ, 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),
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., 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., профессор, 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.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», 2019

№ 2(22)

2019

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

**Н.В. Холупко, Т.В. Мохорт, Я.Л. Навменова,
М.Г. Русаленко, А.Б. Малков**

Особенности проявлений диабетической кардиальной нейропатии и синдромом обструктивного апноэ сна

6

Медико-биологические проблемы

В.С. Аверин, А.Л. Чеховский

Структура дозы облучения населения Брагинского, Хойникского и Наровлянского районов Гомельской области от основных источников радиационного воздействия

13

**Г.Я. Брук, А.Б. Базюкин, А.А. Братилова,
В.А. Яковлев**

Закономерности формирования и прогноз доз внутреннего облучения населения Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС

17

К.Н. Буздалькин, Н.Г. Власова

Уточнённые карты загрязнения трансураниевыми элементами Белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС

24

**Д.А. Евсеенко, З.А. Дундаров, Э.А. Надиров,
Н.Е. Фомченко, А.В. Величко**

Блеббинг плазмолеммы лимфоцитов периферической крови как маркер окислительного стресса

30

**М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекяшева,
С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, В.В. Ступина**

Содержание изотопов радия в основных дозообразующих продуктах на территориях, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС. Оптимизация метода определения

36

Е.Р. Ляпунова, Л.Н. Комарова

Воздействие доxorубина и фракционированного облучения на мезенхимальные стволовые клетки человека

44

Reviews and problem articles

**N.V. Holupko, T.V. Mohort, Ya.L. Navmenova,
M.G. Rusalenko, A.B. Malkov**

Peculiarities of manifestations of diabetic cardiac neuropathy and obstructive sleep apnea syndrome

Medical-biological problems

V.S. Averin, A.L. Chekhovskiy

Structure of dose of radiation appearance of Braginsky, Khoyniksky and Narovlain-sky districts of Gomel region from basic sources of radiation exposure

**G.Ya. Bruk, A.B. Bazjukin, A.A. Bratilova,
V.A. Yakovlev**

Peculiarities of internal exposure doses forming and their prognosis for the population of Bryansk region in the remote period after the Chernobyl accident

K.N. Bouzdalkin, N.G. Vlasova

Updated maps of transuranium elements contamination of the Belarusian sector of the exclusion zone of the Chernobyl NPP

D. Evseenko, Z. Dundarov, E. Nadyrov, N. Fomchenko, A. Velichko

Blebbing of plasmolemma of peripheral blood lymphocytes as a marker of oxidative stress

**M.V. Kaduka, L.N. Basalajeva, T.A. Bekjasheva,
S.A. Ivanov, N.V. Salaskjina, V.V. Stupina**

Potential population exposure doses due to natural radionuclides content in the foodstuffs

E.R. Lyapunova, L.N. Komarova

Effect of doxorubicin and fractionated irradiation on human mesenchymal stem cells

Е.С. Пашинская, В.В. Поляржин Способ воспроизведения экспериментальной крысиной глиомы C6 <i>in situ</i>	50	V.V. Pabiarzhyn, E.S. Pashinskaya Method of reproduction of experimental rat glioma C6 <i>in situ</i>	
В.В. Поляржин Изменение экспрессии иммуногистохимических маркёров GFAP, S 100, Ki 67 в тканях крысиной глиомы C6 <i>in situ</i> при экспериментальном аскаридозе	55	V.V. Pabiarzhyn Changes in the expression of immunohistochemical markers GFAP, S 100, Ki 67 in tissues of rat C6 glioma <i>in situ</i> during experimental ascariasis	
Клиническая медицина		Clinical medicine	
Т.В. Бобр Анализ результатов различных видов лечения посттромботической ретинопатии	61	T.V. Bobr Analysis of the results of different treatments for post-thrombotic retinopathy	
А.В. Величко, М.Ю. Жандаров, С.Л. Зыблев, А.Д. Борсук Конфокальная лазерная микроскопия в диагностике патологии паращитовидных желез	66	A.V. Velichko, M.Y. Zhandarov, S.L. Zyblev, A.D. Borsuk Confocal laser microscopy in the diagnosis of parathyroid gland pathology	
С.В. Зыблева Субпопуляции моноцитов CD14 ^{+mid/high} и CD14 ^{+low} , экспрессирующие рецептор CD86 у пациентов после трансплантации почки	74	S.V. Zybleva CD14 ^{+mid/high} and CD14 ^{+low} monocyte subpopulations, expressing cd86 receptor in patients after kidney transplantation	
А.Г. Карапетян, Н.М. Оганесян, В.С. Григорян Влияние гипоксии и стрессовых факторов на физиологические изменения у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС	82	A.G. Karapetyan, N.M. Hovhannisyan, V.S. Grigoryan Influence of hypoxia and stress factors on physiological changes in liquidators of the emergency of the Chernobyl NPP	
Ж.М. Козич, В.Н. Мартинков, Д.А. Зиновкин, А.Е. Силин, М.Ю. Жандаров, Ж.Н. Пугачева, Л.Е. Коротаева, Л.А. Смирнова Лабораторные и клинические признаки прогрессии моноклональной гаммапатии неуточненного генеза и множественной миеломы	90	Zh. Kozich, V. Martinkov, D. Zinovkin, A. Silin, M. Zhandarov, Zh. Pugacheva, L. Korotaeva, L. Smirnova Laboratory and clinical signs of progression monoclonal gammopathy of undetermined significance and multiple myeloma in patients	
Е.В. Кушнерова Опыт применения дистанционной лучевой терапии рака предстательной железы в режиме гипофракционирования дозы излучения	99	E.V. Kushnerova The experience of using remote radiation therapy of prostate cancer in the hypofractionation dose mode	

- | | | | |
|--|------------|--|------------|
| <p>А.Е. Филюстин, Г.Д. Панасюк, С.Н. Никонович
Пороговые значения минеральной плотности кости при компьютерно-томографической диагностике постменопаузального остеопороза</p> | <p>105</p> | <p>A.E. Filiustin, G.D. Panasiuk, S.N. Nikanovich
Threshold values of bone mineral density at the computer-tomographic diagnosis of postmenopausal osteoporosis</p> | <p>105</p> |
| <p>С.А. Ходулева, И.П. Ромашевская, А.Н. Демиденко, Е.Ф. Мицура
Оценка гепатотоксичности этапа индукционной терапии острого лимфобластного лейкоза у детей</p> | <p>112</p> | <p>S.A. Khoduleva, I.P. Romashevskaya, A.N. Demidenko, E.F. Mitsura
Assessment of hepatotoxicity of the induction therapy stage of acute lymphoblastic leukemia in children</p> | <p>112</p> |

Обмен опытом

- | | |
|--|------------|
| <p>А.В. Макарчик, А.А. Чешик
Восстановление здоровья населения, пострадавшего от последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС</p> | <p>117</p> |
| <p>Д.К. Новик, А.В. Денисов, Е.М. Репченко, Д.В. Кравченко, С.Г. Кузнецов, С.А. Хаданович
Клинический случай приобретенной формы тромботической тромбоцитопенической пурпуры: диагностический поиск и лечение</p> | <p>124</p> |
| <p>А.П. Саливончик, О.А. Романива, М.Ф. Квика
Клинический случай синдрома Джоба</p> | <p>129</p> |

Experience exchange

- | | |
|---|------------|
| <p>A.V. Makarchik, A.A. Cheshik
Recovery of population health, affected by the consequences of the Chernobyl accident</p> | <p>117</p> |
| <p>D.K. Novik, A.V. Denisov, E.M. Repchenko, D.V. Kravchenko, S.G. Kuzniatsou, S.A. Khadanovich
A clinical case of acquired form of thrombotic thrombocytopenic purpura. Description and treatment</p> | <p>124</p> |
| <p>A.P. Salivonchik, O.A. Romaniva, Kvika
Clinical case report of Job syndrome</p> | <p>129</p> |

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

ФБУН «Санкт-Петербургский НИИ радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Санкт-Петербург, Россия

Статья посвящена закономерностям формирования доз внутреннего облучения взрослого населения за счет потребления основных дозообразующих пищевых продуктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. На примере Брянской области выполнена оценка эффективных полупериодов очищения основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данных продуктов со временем от этого химического элемента, а также периодов полуснижения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей Брянской области, нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год (по данным СИЧ-измерений). Полученные результаты позволили выполнить прогноз доз облучения населения Брянской области на период до 2056 года.

Ключевые слова: Чернобыльская АЭС, радиоактивное загрязнение, ^{137}Cs , доза облучения, коэффициент перехода

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) является самой масштабной из радиационных катастроф в мире. В результате теплового взрыва и выброса в атмосферу продуктов деления ядерного топлива радиоактивному загрязнению подверглись значительные территории. Только в Российской Федерации к зонам радиоактивного загрязнения (с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs более 37 кБк/м² в 1991 году) было отнесено 4540 населенных пунктов (далее – НП). По состоянию на 2016 год к зонам радиоактивного загрязнения относятся 3855 НП, в которых проживает более 1,5 млн. человек [1].

Наиболее интенсивно загрязнена Брянская область: так, в Красногорском районе до сих пор есть населенные пункты с загрязнением почвы ^{137}Cs более 1,5 МБк/м². К зонам радиоактивного загрязнения в Брянской области относятся 749 НП. Значительно пострадали также Тульская, Калужская и Орловская области. Кроме этих четырех областей еще в 10 субъектах Рос-

сийской Федерации имеются населенные пункты, расположенные в зонах радиоактивного загрязнения.

Вопросам исследования закономерностей формирования и прогноза доз облучения населения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС был посвящен целый ряд публикаций [2-11].

Целью настоящей работы является изучение закономерностей формирования доз внутреннего облучения взрослого жителей Брянской области за счет потребления различных пищевых продуктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС и прогноз доз внутреннего облучения населения на период до 2056 года.

Основными задачами работы являлись:

- анализ данных радиационного мониторинга на территориях Брянской области, загрязненных долгоживущими радионуклидами, включающий в себя определение содержания ^{137}Cs в пищевых продуктах;
- анализ результатов измерений содержания ^{137}Cs в организме местных жителей;

- уточнение параметров модели прогноза доз внутреннего облучения населения Брянской области;
- прогноз доз внутреннего облучения населения Брянской области на период до 2056 года.

Материал и методы исследований

Измерения содержания ^{137}Cs в организме жителей на счетчиках (спектрометрах) излучения человека (СИЧ), отбор проб пищевых продуктов, их предварительная подготовка к радиохимическому и гамма-спектрометрическому анализу на содержание ^{137}Cs проводились нами в соответствии с методическими рекомендациями 2.6.1.0006-10 «Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения» [12].

Как правило, в качестве СИЧ мы использовали портативные сцинтилляционные спектрометры «DigiDART» производства фирмы ORTEC, USA, с детектором NaI(Tl) 75×75 мм.

В положении обследуемого «сидя» детектор располагали торцом к нижней части живота. Измеряли количество импульсов в энергетическом диапазоне гамма-излучения 585-725 кэВ («окно» ^{137}Cs). Время измерения – 100 с, относительная погрешность – до 30%. Минимальная детектируемая активность (МДА) при использовании детекторов размером 75×75 мм составляла около 700 Бк ^{137}Cs в теле человека при проведении измерений в кирпичном помещении (с низким гамма-фоном).

Анализ проб пищевых продуктов на содержание ^{137}Cs γ -спектрометрическим методом выполняли на метрологически аттестованных γ -спектрометрах со сцинтилляционным или полупроводниковым детектором. МДА для таких приборов обеспечивала возможность определения ^{137}Cs в пробах на уровне от 10 Бк/кг и ниже. Статистическая погрешность отдельного измерения не превышала 20%.

Если удельная активность радионуклида в исходной пробе оказывалась меньше

достоверно определяемой, выполняли отбор пробы в объеме, большем, чем рекомендованный в п. 5.2.2 методических рекомендаций [13], и проводили предварительное концентрирование пробы (выпаривание, сушка, озоление) с ее последующим повторным γ -спектрометрическим анализом.

При невозможности получения достоверного результата выполняли радиохимический анализ пробы. Радиохимическое определение содержания ^{137}Cs в пробах производили по стандартным методикам.

В рамках работ по федеральной целевой программе «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» и «Программе совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года», учреждениями Роспотребнадзора отбирались пробы пищевых продуктов. Для выполнения задач, поставленных в настоящей работе, были использованы данные мониторинга содержания радионуклидов в основных дозообразующих пищевых продуктах (молоке и грибах), произведенных и собранных за период 1987-2016 гг. (7201 проба молока и 10505 проб грибов) на территориях Брянской области с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 году от 5 до 30 Ки/км² (где фактически не применялись контрмеры). В отобранных пробах определяли удельную активность ^{137}Cs . Анализы выполнялись в Испытательной лаборатории ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и в Испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Брянской области». Все результаты по пробам молока были получены с помощью радиохимических методов анализа, а по пробам грибов – с использованием γ -спектрометрических и радиохимических методов.

Отечественные методические указания МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду» [13], утвержденные в 2007 году, определяют требования к необходимым исходным данным и процедуру расчета прогнозируемых эффективных доз облучения

Таблица 1 – Эффективное годовое потребление молока и грибов лесных (дозовые эквиваленты потребления сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов) взрослыми жителями Европейской части России, кг/год (из табл. 6.4 МУ 2.6.1.2222-07)

Продукт	Тип НП по количеству жителей		
	менее 10 тысяч человек	от 10 до 100 тысяч человек	более 100 тысяч человек
Молоко	300	250	200
Грибы (сырой вес)	10	8	5

жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие выброса в окружающую среду радионуклидов цезия и стронция (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr).

В соответствии с МУ 2.6.1.2222-07, основными параметрами, определяющими порядок расчета прогнозируемых доз внутреннего облучения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС, являются «медленные» эффективные полупериоды очищения основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данных продуктов со временем от этого химического элемента и эффективное годовое потребление молока и грибов лесных (дозовые эквиваленты потребления сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов) взрослыми жителями Европейской части России.

Результаты исследования

Согласно таблицы 6.6 МУ 2.6.1.2222-07, «медленные» эффективные полупериоды очищения основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данных продуктов со временем от этого химического элемента составляет 15 и 17 лет, соответственно.

Эффективное годовое потребление молока и грибов лесных в соответствии с таблицей 6.4 МУ 2.6.1.2222-07, указано в таблице 1.

С даты утверждения МУ 2.6.1.2222-07 прошло уже 12 лет и количественные характеристики основных параметров дозиметрических моделей, используемых в

расчетах, в том числе эффективные годовые потребления молока и грибов лесных и «медленные» эффективные полупериоды очищения молока и грибов, могли измениться. Поэтому для решения перечисленных ранее задач данной работы необходимо было, в первую очередь, определить эти изменения и скорректировать прогноз доз внутреннего облучения населения Брянской области на период до 2056 года.

На рисунке 1 приведена динамика изменения коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs из почвы в молоко за период 1987-2016 гг. для территорий с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 году от 5 до 30 Ки/км² (где фактически не применялись контрмеры). Мы не использовали данные 1986 года по молоку, чтобы исключить влияние на итоговые результаты короткоживущих радионуклидов и поверхностного загрязнения растительности всеми выпавшими радионуклидами.

В общем виде формула для расчета результирующей кривой изменения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в молоко (КП_{молоко}) за период 1987-2016 гг. в Брянской области выглядит следующим образом:

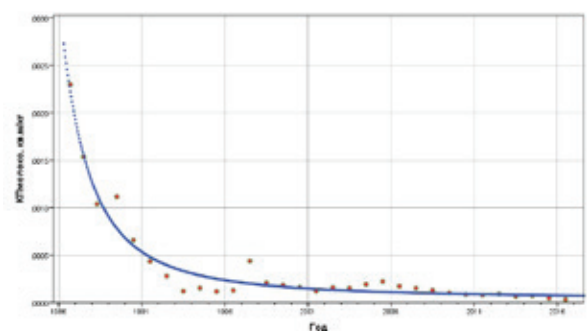


Рисунок 1 – Динамика изменения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в молоко (КП_{молоко}) за период 1987-2016 гг. (Брянская область)

$$КП_{\text{молоко}} = a \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{\text{год} - 1986}{T_1}\right) + c \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{\text{год} - 1986}{T_2}\right)$$

где: $a=(0,00145 \pm 0,0002)$, кг/м²; $T_1=(1,8 \pm 0,5)$, лет; $c=(0,00023 \pm 0,00004)$, мЗв·м²·МБк⁻¹; $T_2=(21 \pm 5)$, лет. Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,89.

На рисунке 2 представлена динамика изменения коэффициентов перехода (КП) ¹³⁷Cs из почвы в грибы за период 1991-2016 гг. для территорий с плотностью загрязнения почвы ¹³⁷Cs в 1986 году от 1 до 30 Ки/км².

В общем виде формула для расчета результирующей кривой изменения коэффициентов перехода ¹³⁷Cs из почвы в грибы (КП_{грибы}) за период 1991-2016 гг. в Брянской области выглядит следующим образом:

$$КП_{\text{грибы}} = a \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{\text{год} - 1986}{T}\right)$$

где: $a=(0,014 \pm 0,002)$, кг/м²; $T=(19 \pm 6)$, лет. Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,33.

Таким образом, в настоящее время «медленные» периоды полуснижения КП_{молоко} и КП_{грибы} составляют 21 и 19 лет, соответственно, а «медленные» эффективные полупериоды очищения молока и грибов от ¹³⁷Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данных продуктов со временем от этого химического элемента составляют около 12 лет, что несколько отличается в меньшую сторону от значений, приведенных в таблице 6.6 МУ 2.6.1.2222-07.

На рисунке 3 приведена динамика изменения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения населения E_{int} , проживающего на территориях с плотностью загрязнения почвы ¹³⁷Cs в 1986 году от 5 до 30 Ки/км² (где фактически не применялись контрмеры), нормированных на плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs в соответствующий год (по данным выполненных нами СИЧ-измерений жителей Брянской области за период 1987-2016 гг.). При этом, чтобы исключить случайные выбросы, из всех имеющихся результатов по каждому году удалены данные со значениями,

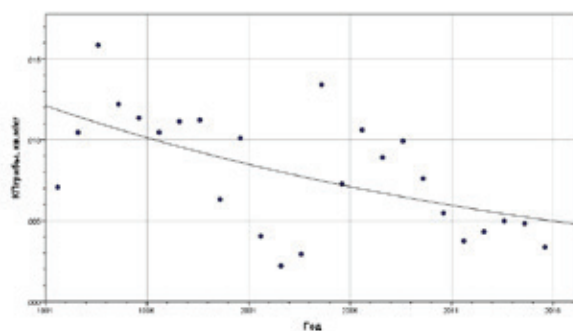


Рисунок 2 – Динамика изменения коэффициентов перехода ¹³⁷Cs из почвы в грибы (КП_{грибы}) за период 1991-2016 гг. (Брянская область)

выходящими за пределы интервала $\ln(E_{\text{int}})$ (среднее) $+2\sigma < \ln(E_{\text{int}}) < \ln(E_{\text{int}})$ (среднее) -2σ , где σ – стандартное отклонение. Общее количество использованных в настоящей работе данных СИЧ-измерений, выполненных нами в 170 населенных пунктах в период 1987-2016 гг., составляет 14663.

В общем виде формула для расчета результирующей кривой динамики E_{int} за период 1987-2016 гг. в Брянской области выглядит следующим образом:

$$E_{\text{int}} = a \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{\text{год} - 1986}{T_1}\right) + c \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{\text{год} - 1986}{T_2}\right)$$

где: $a=(34 \pm 2)$, кг/м²; $T_1=(0,6 \pm 0,1)$, лет; $c=(1,3 \pm 0,4)$, мЗв·м²·МБк⁻¹; $T_2=(15 \pm 3)$, лет. Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,95.

Таким образом, по данным СИЧ-измерений, «медленный» период полусни-

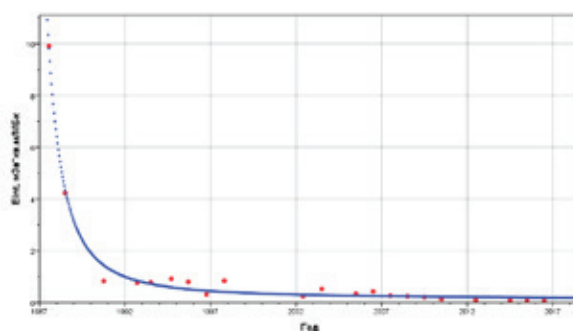


Рисунок 3 – Динамика средних годовых эффективных доз внутреннего облучения (E_{int}) жителей Брянской области за период 1987-2016 гг., нормированных на плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs в соответствующий год

Таблица 2 – Эффективное годовое потребление молока и грибов лесных (дозовые эквиваленты потребления сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов) взрослыми жителями Европейской части России, кг/год

Продукт	Тип НП по количеству жителей		
	менее 10 тысяч человек	от 10 до 100 тысяч человек	более 100 тысяч человек
Молоко	170	140	110
Грибы (сырой вес)	9	7	5

жения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей Брянской области, нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год, составляет 15 лет, что достаточно близко к «медленным» эффективным полупериодам очищения молока и грибов от ^{137}Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данных продуктов со временем от этого химического элемента.

Обработку всех собранных данных по молоку, грибам и СИЧ-измерениям проводили с использованием пакета прикладных программ статистической обработки данных IBM SPSS Statistics.

Что касается современных уровней потребления основных дозообразующих пищевых продуктов, то результаты, приведенные в методических указаниях МУ 2.6.1.3152-13 [14] и подтвержденные авторами статьи [15], позволили корректно оценить их (таблица 2).

Из приведенной таблицы следует, что в настоящее время эффективное годовое потребление грибов уменьшилось незначительно, а молока – снизилось в 1,8 раза.

Используя полученные результаты, можно выполнить расчет прогнозируемых средних годовых эффективных доз внутреннего облучения населения Брянской области на период до 2056 года.

Что касается прогноза средних годовых эффективных доз внешнего облучения, то, по аргументированному мнению автора работы [16], пока нет существенных оснований для внесения изменений в методические указания МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду», утвержденные в 2007 году.

Таким образом, с использованием всех полученных в настоящей работе результатов,

можно выполнить расчет прогнозируемых средних годовых эффективных доз не только внутреннего облучения населения Брянской области, но и дать прогноз суммарных доз (внутреннее + внешнее облучение).

В таблица 3 приведено распределение населенных пунктов Брянской области, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, по величине фактической средней годовой эффективной дозы облучения жителей в разные годы (вплоть до 2056 года).

Заключение

Исследования закономерностей формирования доз внутреннего облучения населения радиоактивно загрязненных субъектов Российской Федерации необходимы для уточнения текущих дозовых нагрузок и их прогноза на последующие периоды времени. На примере Брянской области нами выполнена оценка эффективных полупериодов очищения основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данных продуктов со временем от этого химического элемента, а также периодов полуснижения средних годовых

Таблица 3 – Распределение населенных пунктов Брянской области, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, по величине средней годовой эффективной дозы облучения жителей в разные годы

Год	Кол-во НП, в интервалах доз, мЗв/год			
	< 0,3	0,3 – 1,0	≥ 1,0	Max
2016	526	204	19	3,7
2026	617	126	6	2,4
2036	691	55	3	1,6
2046	732	16	1	1,1
2056	743	6	–	0,76

эффективных доз внутреннего облучения населения, нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год (по данным СИЧ-измерений). Это позволило внести изменения в параметры модели внутреннего облучения, использованные ранее для расчетов прогнозируемых доз в соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду», утвержденными в 2007 году. Что касается прогноза средних годовых эффективных доз внешнего облучения, то пока нет существенных оснований для внесения изменений в указанный методический документ.

Полученные результаты позволили нам выполнить прогноз фактических доз облучения населения Брянской области на период вплоть до 2056 года и выделить населенные пункты, в которых оправдано проведение соответствующих защитных мер.

Библиографический список

1. Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».

2. Methodical document «Forecasting doses to the public and its critical groups in the remote period after the Chernobyl accident» developed under the IAEA Project: RER/3/004 «Radiological support for the rehabilitation of areas affected as a result of the accident at the Chernobyl NPP», IAEA, Vienna, 2008.

3. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Ю.О. Константинов [и др.] // Под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. СПб: 2016. – Т.1. – 448 с.

4. Развитие единой системы оценки и прогноза доз облучения населения, проживающего в реперных населенных пунктах приграничных территорий Союзного го-

сударства, пострадавших вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС / Г.Я. Брук [и др.] // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2017. – № 1(17). – С. 168-175.

5. Динамика средних годовых и накопленных доз облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС / М.И. Балонов [и др.] // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2018. – С. 24-29.

6. Обоснование перечня пострадавших вследствие аварии на ЧАЭС населенных пунктов Российской Федерации, предназначенных к переходу от состояния проживания населения в условиях радиационной аварии к условиям нормальной жизнедеятельности / Г.Я. Брук [и др.] // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2018. – С. 68-72.

7. Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / О.К. Власов [и др.] // Бюлл. «Радиация и риск». – 1996. – вып. 7. – С. 39-72.

8. Cesium and strontium radionuclide migration in the agricultural ecosystem and estimation doses to the population The Chernobyl Papers. – 1993. – Vol. 1. – P. 167-218.

9. Dynamics of ^{137}Cs transfer from soil into forest mushrooms and berries after the Chernobyl accident / V.N. Shutov [et al.] // UIR Topical meeting, Mol – Belgium. Book of abstracts, 1998. – P. 48-49.

10. Dynamics of ^{137}Cs content in agricultural food products produced in regions of Russia contaminated after the Chernobyl accident / G.Ya. Bruk [et al.] // Radiat. Prot. Dosimetry. – 1998. – Vol. 76, No. 3. – P. 169-178.

11. Методические рекомендации МР 2.6.1.0006-10 «Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения». Москва, 2010.

12. Методические указания МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду». Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, 2007.

13. Методические указания МУ 2.6.1.3152-13 «Изменения № 1 к МУ 2.6.1.2003-05 «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие ава-

рии на Чернобыльской АЭС». Роспотребнадзор, 2013.

14. Братилова, А.А. Влияние потребления различных пищевых продуктов на формирование доз внутреннего облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС / А.А. Братилова, Г.Я. Брук // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 21-26.

15. Голиков, В.Ю. Анализ долгосрочной динамики доз внешнего облучения населения после Чернобыльской аварии / В.Ю. Голиков // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 38-43.

G.Ya. Bruk, A.B. Bazjukin, A.A. Bratilova, V.A. Yakovlev

PECULIARITIES OF INTERNAL EXPOSURE DOSES FORMING AND THEIR PROGNOSIS FOR THE POPULATION OF BRYANSK REGION IN THE REMOTE PERIOD AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

An article is devoted to the peculiarities of internal exposure doses forming of adult population due to the main dose-forming foodstuffs in the remote period after Chernobyl accident. On an example of the Bryansk region we carried out the assessment of the effective purification half-periods of the main dose-forming food products (milk and mushrooms) from ^{137}Cs due to its radioactive decay and natural self-purification and the assessment of the periods of half-reduction of the average annual effective internal exposure doses for the population of the Bryansk region divided on the ^{137}Cs soil surface activity actual in the corresponding year (based on whole body measurements data). Obtained results allowed fulfilling the prognosis of the exposure doses for the population of the Bryansk region for the period up to 2056.

Key words: Chernobyl NPP, radioactive contamination, ^{137}Cs , exposure dose, transfer factor

Поступила 14.03.2019