

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	

- А.Е. Филюстин, Г.Д. Панасюк, С.Н. Никонович
Пороговые значения минеральной плотности кости при компьютерно-томографической диагностике постменопаузального остеопороза 105
- С.А. Ходулева, И.П. Ромашевская, А.Н. Демиденко, Е.Ф. Мицура
Оценка гепатотоксичности этапа индукционной терапии острого лимфобластного лейкоза у детей 112

Обмен опытом

- А.В. Макарчик, А.А. Чешик
Восстановление здоровья населения, пострадавшего от последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС 117
- 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 124
- А.П. Саливончик, О.А. Романива, М.Ф. Квика
Клинический случай синдрома Джоба 129

Experience exchange

- A.E. Filiustin, G.D. Panasiuk, S.N. Nikanovich
Threshold values of bone mineral density at the computer-tomographic diagnosis of postmenopausal osteoporosis 105
- 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 112
- A.V. Makarchik, A.A. Cheshik
Recovery of population health, affected by the consequences of the Chernobyl accident 117
- 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 124
- A.P. Salivonchik, O.A. Romaniva, Kvika
Clinical case report of Job syndrome 129

СОДЕРЖАНИЕ ИЗОТОПОВ РАДИЯ В ОСНОВНЫХ ДОЗООБРАЗУЮЩИХ ПРОДУКТАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧАЭС. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ФБУН «Санкт-Петербургский НИИ радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», г. Санкт-Петербург, Россия

В статье приведены результаты исследования содержания природных изотопов радия: ^{226}Ra , ^{228}Ra в основных дозообразующих пищевых продуктах сельскохозяйственного производства и природного происхождения, традиционно потребляемых местным населением, отобранных на территориях, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС. Предложен более совершенный и простой для реализации исполнителями, чем существующие, метод определения содержания изотопов радия (^{228}Ra и ^{226}Ra) в пищевых продуктах из объема пробы не более 1,5 кг, с минимально измеряемой активностью счетного образца не более 0,05 Бк. Радиохимические исследования отобранных проб проводятся с 2018 г. по настоящее время. Выполнена оценка потенциальной максимальной среднегодовой дозы внутреннего облучения населения (E_{int}) за счет содержания ^{226}Ra и ^{228}Ra в основных дозообразующих продуктах, потребляемых местным населением. Для расчета доз внутреннего облучения использовали данные о рационах питания взрослых жителей территорий, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС, полученные в результате опросов местного населения, проведенных в рамках Федеральных целевых программ Роспотребнадзора в 2010-2015 гг. Показано, что только за счет отдельных природных радионуклидов (^{226}Ra и ^{228}Ra) доза внутреннего облучения населения при потреблении ограниченного набора пищевых продуктов может в 12 раз превышать дозу облучения за счет техногенных радионуклидов даже на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: *природные радионуклиды, дозы внутреннего облучения населения, пищевые продукты, методы определения удельной активности, радиохимический анализ*

Введение

Основной вклад в дозу облучения населения вносят природные радионуклиды из-за содержания их в среде обитания людей: воздухе, почве, воде, строительных материалах. Естественная радиоактивность биосферы определяется главным образом радиоактивными изотопами, входящими в состав радиоактивных рядов урана и тория, а также калием-40. Содержание природных радионуклидов (ПРН) в пищевых продуктах влияет на суммарную дозу облучения населения, хотя и не является преобладающим. В отдельных случаях вклад в дозу внутреннего облучения за счет содержания ПРН в пищевых продуктах мо-

жет быть значительным [1, 2]. Основными дозообразующими радионуклидами, наряду с изотопами урана (^{238}U и ^{234}U), являются изотопы радия (^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{224}Ra). ^{226}Ra имеет высокий индекс токсичности, связанный с долговременным отложением в костной ткани, высокими энергиями α - и β -излучения самого ^{226}Ra и его дочерних продуктов распада. Радий обнаружен в травянистых и цветочных растениях, кофе, древесине, морских водорослях и т.д. Он принадлежит к сильно рассеянным элементам и в очень малых концентрациях обнаружен в самых различных объектах. Радий неравномерно распределен в различных участках биосферы. Существуют

геохимические провинции с повышенным содержанием радия. В природные воды радий переходит за счет процессов адсорбционного обмена, диффузионного выщелачивания пород и извлечения из некоторых растительных остатков (отдельные растения способны накапливать радий в повышенных количествах) [3]. Разработано множество методов определения активности изотопов радия. Наиболее распространены альфа- и бета-спектрометрические, жидкостной сцинтилляционный, эманационный, гамма-спектрометрические методы. Самым чувствительным является эманационный метод определения ^{226}Ra по его дочернему продукту распада – ^{222}Rn . В настоящее время этот метод не используется, т.к. приборы и сцинтилляционные камеры для выполнения таких анализов не производятся. Методы измерения изотопов радия с использованием жидкостных сцинтилляционных счетчиков с геометрией 4-π осложняются подбором необходимой смеси и пробоподготовкой образца, а также высокой стоимостью оборудования [4, 5]. На сегодняшний день наиболее широко используется метод спектрометрического определения активности изотопов радия (после радиохимической подготовки счетного образца) по излучению короткоживущих дочерних продуктов его распада с применением полупроводниковых и сцинтилляционных гамма-спектрометров. Гамма-спектрометрическое измерение активности ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{224}Ra обычно выполняют в специально подготовленном образце по аналитическим линиям дочерних продуктов после установления радиоактивного равновесия, которое для ^{226}Ra наступает лишь после 23 суток выдерживания герметизированного препарата [4, 5].

Большинство существующих в настоящее время методик определения содержания изотопов радия в неводных пробах не могут быть реализованы в лабораториях по разным причинам: дорогостоящая аппаратура и материалы, агрессивные реагенты, необходимость в большом объеме пробы, многостадийность, длительность и тру-

доемкость анализа. Актуальным является разработка метода определения содержания изотопов радия в неводных объектах, ориентированного на альфа- бета-радиометрическое определение его активности.

^{210}Pb и его дочерний продукт ^{210}Po по радиотоксикологическому действию на организм отнесены к группе радионуклидов с особо высокой токсичностью. Присутствие радиоактивных изотопов Pb и Po в природной среде обусловлено не только распадом ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th , но и постоянным выпадением с аэрозольными частицами из атмосферы при распаде ^{222}Rn [6]. Высокая удельная активность ^{210}Po и ^{210}Pb характерна для некоторых видов растений, особенно в северных регионах (мхи, лишайники). Северные районы отличаются также повышенным содержанием ^{210}Po в организме человека и животных, примерно в 10 раз выше, чем в южных регионах [7].

Современных методов определения содержания изотопов урана в пищевых продуктах в настоящее время в доступной литературе найти не удалось. Доступны лишь сложнейшие методы выделения изотопов урана из пищевых продуктов с использованием фотокалориметрической аппаратуры или на перлах, изданные в 80-х годах прошлого века [8]. Сложность радиохимического выделения изотопов урана из пищевых продуктов связана с тем, что присутствие в большинстве продуктов значительных количеств таких химических элементов, как фосфор, кальций, магний, железо мешает определению удельной активности изотопов урана из-за образования его прочных химических соединений с фосфатами или устойчивых, трудно разрушаемых комплексов, в состав которых, чаще всего, включается и железо.

Несмотря на то, что в Российской Федерации ведется сбор данных в статистических формах отчетности (4-ДОЗ), данных о содержании ПРН в пищевых продуктах, потребляемых населением, недостаточно. Данный факт связан со сложностью определения удельной активности ПРН в пищевых продуктах, так как для этого исполь-

зуются радиохимические методы анализа, являющиеся достаточно трудоемкими, требующими специальной подготовки исполнителей анализа и использования определенных агрессивных реактивов, что, естественно, влияет на экономическую составляющую данного вопроса.

В связи с вышеизложенным, в радиохимической лаборатории института была инициирована научно-исследовательская работа (НИР) по поиску существующих в настоящее время методов определения удельной активности ПРН в пищевых продуктах, анализу применяемых в них приемов концентрирования и выделения радионуклидов, поиску возможностей их усовершенствования (оптимизации) или разработке альтернативных методов и приемов анализа. **Цель НИР** – разработать оптимальный метод определения содержания ПРН в пищевых продуктах, с последующей оценкой их содержания в различных видах (группах) продуктов; установить критические по содержанию ПРН группы продуктов, то есть, выявить продукты, которые специфично накапливают в большей степени те или иные ПРН. Предполагается, что разработанные приемы анализа позволят определять содержание ПРН в исследуемых образцах более эффективными методами: быстрее, точнее, экономически более выгодно. Данная информация необходима для оценки реальных доз облучения населения за счет ПРН в пищевых продуктах.

Материал и методы исследования

Объектами в данной работе являются пищевые продукты, традиционно потребляемые населением территорий, загрязненных после аварии на ЧАЭС, и формирующие дозу внутреннего облучения населения данных территорий. Контролируемыми параметрами при проведении исследований являлись удельные активности природных радионуклидов ^{226}Ra и ^{228}Ra в основных пищевых продуктах местного сельскохозяйственного производства: молоко, мясо, картофель и в продуктах природного происхождения, отобранных на обследованных

территориях: рыба озерная, ягоды лесные. Исследования проводятся с 2018 года по настоящее время с анализом проб пищевых продуктов, отобранных на территории Калужской, Рязанской и Пензенской областей и Республики Мордовия. Пищевые продукты были отобраны специалистами учреждений Роспотребнадзора загрязненных территорий, подготовлены (сожжены и озолены) для последующего радиохимического анализа и направлены для проведения анализа в институт радиационной гигиены. Пробоподготовку проводили согласно требованиям методики выполнения измерений, разработанной в институте [9]. Пробы молока объемом 1-2 л выпаривали в фарфоровых чашках до сухого остатка, который, озоляли на электроплитке, затем в муфельной печи. Пробы мяса и рыбы весом около 1-2 кг измельчали, помещали в металлическую (фарфоровую) посуду и озоляли. Пробы ягод, отдельно по их видам, весом около 1 кг очищали от песка и почвы, высушивали в сушильном шкафу при температуре 100-150°C, помещали в металлическую (фарфоровую) посуду и озоляли. Пробы картофеля весом около 1,5 кг промывали, очищали от кожуры, измельчали, сжигали в металлической посуде на плитке и озоляли.

Методика определения содержания изотопов радия в пищевых продуктах по аналогии с разработанной в радиохимической лаборатории института методикой определения изотопов радия в питьевой воде [10] включает в себя следующие операции: концентрирование изотопов радия методом осаждения на сульфате бария, отделение от мешающих изотопов, селективное разделение.

Проект разрабатываемого метода определения ПРН в пищевых продуктах (может применяться и для неводных объектов окружающей среды и других подобных объектов) включает следующие стадии: пробоподготовка (аналогичная подготовке конкретного вида пищевого продукта перед кулинарной обработкой: очистка от загрязнений, косточек, кожуры, мытье, удаление костей для проб мяса и рыбы и другие по-

добные виды подготовки), высушивание, озоление при 600-700°C для удаления органики; внесение носителей (титрованные растворы BaCl_2 и FeCl_3) с последующим выщелачиванием при кипячении с 6 н HCl в течение 1,5-2 часов; при наличии нерастворившегося осадка после фильтрования его переносят дистиллированной водой в стакан, добавляют пятикратный (по отношению к осадку) объем Na_2CO_3 и кипятят в течение 1,5 часов для перевода сульфатов (бария-радия) в карбонатную форму, полученные карбонаты отфильтровывают, растворяют в 2 н HCl и объединяют с основным фильтратом; разбавление основного (объединенного) фильтрата дистиллированной водой до pH 1-1,5 (предполагаемый объем 1000 мл) и осаждение сульфата (бария-радия) из кипящего раствора разбавленной H_2SO_4 (10%); перевод отфильтрованного осадка сульфата (бария-радия) в карбонатную форму кипячением с Na_2CO_3 в течение 1,5 часов; растворение карбонатов (бария-радия) в 2 н HCl ; очистка от мешающих α -излучателей осаждением на гидроокиси железа; внесение титрованного LaCl_3 в подкисленный раствор и осаждения $\text{La}[\text{Ac}^{228}](\text{OH})_3$ после накопления дочернего ^{228}Ac из ^{228}Ra ; осаждение сульфата (бария-радия) – (^{226}Ra и ^{224}Ra) добавлением 10% H_2SO_4 ; прокаливание выделенных препаратов при 800-900°C; измерение активности счетных образцов ^{228}Ac (^{228}Ra) и (^{226}Ra и ^{224}Ra); расчет удельных активностей ^{228}Ra и ^{226}Ra в пищевом продукте.

Результаты исследования

В рамках разработки методики определения изотопов радия с целью оптимизации методов определения ПРН в пищевых продуктах в радиохимической лаборатории института в 2018 г. выполнили радиохимический анализ 20 проб пищевых продуктов, отобранных на территориях, загрязненных после аварии на ЧАЭС. В результате проведенных исследований, теоретических и практических изысканий разработан проект более совершенного и простого для реализации исполнителями, чем существующие,

метода определения содержания изотопов радия (^{228}Ra и ^{226}Ra) в пищевых продуктах из объема пробы не более 1,5 кг, с минимально измеряемой активностью счетного образца не более 0,05 Бк. Удельную активность природных изотопов радия определили в 4 пробах, отобранных на территории в Калужской области, в 7 пробах, отобранных в Рязанской области, в 7 пробах, отобранных в Пензенской области, и в 2 пробах, отобранных в Республике Мордовия. Данные о содержании изотопов радия в исследованных пробах основных дозообразующих продуктов, отобранных на территориях, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС, представлены в таблице 1. Приведены значения удельной активности ^{228}Ra (период полураспада 5,75 года), пересчитанные на год отбора каждой пробы.

Средние значения удельной активности ^{226}Ra и ^{228}Ra и диапазоны данных показателей в пробах основных дозообразующих продуктов, отобранных на территориях, загрязненных после аварии на ЧАЭС, приведены в таблице 2.

На основании полученных данных о содержании изотопов радия в проанализированных пищевых продуктах выполнили оценку потенциальной максимальной среднегодовой дозы внутреннего облучения населения (E_{int}) за счет содержания ^{226}Ra и ^{228}Ra в основных дозообразующих продуктах, потребляемых местным населением. Для расчета доз внутреннего облучения использовали данные о рационах питания взрослых жителей территорий, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС, полученные в результате опросов местного населения, проведенных в рамках Федеральных целевых программ Роспотребнадзора в 2010-2015 гг. Дозовые коэффициенты для перорального поступления изотопов радия в организм взрослого населения приведены в Приложении 2а к НРБ-99/2009 [11] – 0,00028 мЗв/Бк для ^{226}Ra и 0,00069 мЗв/Бк для ^{228}Ra . При расчете потенциальной максимальной среднегодовой дозы внутреннего облучения населения (E_{int}) за счет содержания ^{226}Ra и ^{228}Ra в основных дозообразующих продуктах, потребляемых

Таблица 1 – Удельная активность ^{226}Ra и ^{228}Ra в пробах основных дозообразующих продуктов, отобранных на территориях, загрязненных после аварии на ЧАЭС, Бк/кг

Место отбора	Вид продукта	Год отбора	Удельная активность, Бк/кг	
			^{226}Ra	^{228}Ra
Рязанская область	Молоко	2010	0,044 ± 0,022	0,17 ± 0,08
	Молоко	2010	0,047 ± 0,023	0,044 ± 0,022
	Молоко	2015	0,076 ± 0,038	0,208 ± 0,104
	Молоко	2015	0,090 ± 0,045	0,129 ± 0,065
	Картофель	2015	0,069 ± 0,034	0,784 ± 0,240
	Рябина	2010	0,15 ± 0,05	0,55 ± 0,165
	Рябина	2010	0,15 ± 0,05	0,23 ± 0,09
Калужская область	Мясо, телятина	2010	0,06 ± 0,03	0,34 ± 0,10
	Рыба свежая из пруда	2010	—*	0,37 ± 0,11
	Картофель	2010	0,046 ± 0,023	0,16 ± 0,08
	Картофель	2010	0,088 ± 0,035	0,15 ± 0,07
Пензенская область	Молоко	2015	0,023 ± 0,011	0,060 ± 0,030
	Молоко	2015	0,014 ± 0,007	0,100 ± 0,050
	Картофель	2014	0,023 ± 0,011	0,189 ± 0,057
	Картофель	2015	0,037 ± 0,017	0,703 ± 0,211
	Картофель	2014	0,044 ± 0,022	0,331 ± 0,099
	Черника	2015	0,125 ± 0,038	0,206 ± 0,061
	Рыба карп	2015	0,054 ± 0,027	0,324 ± 0,097
Республика Мордовия	Молоко	2015	0,059 ± 0,030	0,219 ± 0,109
	Картофель	2015	0,078 ± 0,029	0,327 ± 0,096

* Осаждение ^{226}Ra в данной пробе выполнить не удалось

Таблица 2 – Средние значения и диапазоны значений удельной активности ^{226}Ra и ^{228}Ra в пробах основных дозообразующих продуктов, отобранных на территориях, загрязненных после аварии на ЧАЭС, Бк/кг

Вид продукта	Число проб	Удельная активность ^{226}Ra , Бк/кг		Удельная активность ^{228}Ra , Бк/кг	
		Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон
Молоко	7	0,050	0,014-0,090	0,133	0,044-0,219
Картофель	7	0,055	0,023-0,088	0,378	0,150-0,784
Телятина	1	0,060	—	0,340	—
Рыба озерная	2	0,054	—	0,347	0,324-0,370
Ягоды лесные	3	0,142	0,125-0,150	0,329	0,206-0,550

местным населением, использовали максимальные значения удельной активности изотопов радия – $A(^{226}\text{Ra})$ и $A(^{228}\text{Ra})$, полученные в результате проведенного исследования без учета неопределенности измерений. Полученные оценочные значения потенциальных доз облучения населения за счет природных изотопов радия, содержащихся в пищевых продуктах, приведены в таблице 3.

В результате проведенных расчетов получили оценочное значение дозы внутреннего облучения: $E_{\text{int}} (^{226}\text{Ra}+^{228}\text{Ra})$, равное 0,109 мЗв/год. Следует отметить, что вышеприведенное значение дозы внутреннего облучения является лишь частью дозы

облучения от ПРН в пищевых продуктах, а именно, дозой за счет содержания в продуктах только двух радионуклидов и только в пяти видах пищевых продуктов. При этом значение дозы внутреннего облучения жителей Рязанской и Пензенской областей за счет содержания техногенного ^{137}Cs в основных дозообразующих пищевых продуктах – компонентах рациона, полученное в рамках Федеральных целевых программ Роспотребнадзора, составило 0,009 мЗв/год. Вклад ^{90}Sr в дозу внутреннего облучения в отдаленный период после аварии на ЧАЭС составляет доли процентов [12], поэтому в расчет не принимался.

Таблица 3 – Оценочные значения доз внутреннего облучения взрослых жителей территорий, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС за счет содержания природных изотопов радия в пищевых продуктах: $E_{int} (^{226}\text{Ra})$, $E_{int} (^{228}\text{Ra})$, мЗв/год

Вид продукта	Потребление, кг/год	$A(^{226}\text{Ra})$, Бк/кг	$E_{int} (^{226}\text{Ra})$, мЗв/год	$A(^{228}\text{Ra})$, Бк/кг	$E_{int} (^{228}\text{Ra})$, мЗв/год
Молоко	127	0,090	0,0032	0,219	0,0192
Картофель	143	0,088	0,0035	0,784	0,0774
Телятина	9,6	0,060	0,0002	0,340	0,0023
Рыба озерная	4,3	0,054	0,0001	0,370	0,0011
Ягоды лесные	5,2	0,150	0,0002	0,550	0,0020
E_{int} суммарная по всем продуктам		0,0072		0,1019	
$E_{int} (^{226}\text{Ra}+^{228}\text{Ra})$		0,109			

Заключение

Согласно требованиям нормативно-методических документов [13], в форму 4-ДОЗ должны вноситься, в том числе, сведения о дозах внутреннего облучения населения за счет содержания ПРН в пищевых продуктах. Как правило, для оценки доз облучения населения за счет ПРН специалисты, заполняющие форму статистической отчетности, используют среднемировые данные о содержании ПРН в пищевых продуктах, приведенные в отчете НКДАР ООН, 2000 г. [14], обобщенные в таблице 1 МУ 2.6.1.1088-02 [13]. В результате такого подхода, связанного, прежде всего, с чрезвычайной трудоемкостью существующих на сегодняшний день методов определения содержания ПРН в пищевых продуктах, в формах статистической отчетности содержатся сведения не о реальных дозах облучения населения той или иной территории за счет содержания ПРН в пищевых продуктах, а среднемировые данные. При этом значения удельной активности ПРН в одном и том же виде пищевого продукта, по данным отчета НКДАР ООН [14], даже для территории одного государства могут отличаться на несколько порядков величины. Так, например, содержание ^{226}Ra в зерновых продуктах, выращенных на территории Германии может варьировать в диапазоне 0,02-2,90 Бк/кг, т.е. различаться в 145 раз.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) в 2017 г. инициировало проект по оценке доз внутреннего облучения за счет поступления природных радионуклидов с пищей и питьевой водой.

Данные касаются 9 радионуклидов, упомянутых в отчете НКДАР ООН [5], а именно: ^{238}U , ^{235}U , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb и ^{210}Po . Был поднят вопрос о необходимости совершенствования существующих методов определения ПРН в пищевых продуктах и сборе информации о содержании ПРН в пищевых продуктах территорий стран участниц МАГАТЭ. Это говорит об актуальности данного вопроса не только в масштабах Российской Федерации.

Полученные в настоящей работе результаты исследований наглядно показывают, что только за счет отдельных природных радионуклидов ($^{226}\text{Ra}+^{228}\text{Ra}$) доза внутреннего облучения населения при потреблении пищевых продуктов может в 12 раз превышать дозу облучения за счет техногенных радионуклидов, даже на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС. Это еще раз доказывает необходимость изучения вопроса совершенствования методов определения содержания природных радионуклидов в пищевой продукции, производимой на разных территориях, и выполнения оценки реальных доз внутреннего облучения населения за счет содержания ПРН в пищевых продуктах.

Библиографический список

1. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 2. Характеристика источников и доз облучения населения Российской Фе-

- дерации / Г.Г. Онищенко [и др.] // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10(3). – С. 18-35.
2. Облучение населения Ленинградской области за счет природных источников ионизирующего излучения / О.А. Историк // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11(2). – С. 91-97.
3. Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 289 с.
4. Вдовенко, В.И. Аналитическая химия радия / В.И. Вдовенко, Ю.В. Дубасов. – Л.: Наука, 1973. – 190 с.
5. Метод определения изотопов радия в природных водах с использованием низкофонового альфа-бета-радиометра / А.Е. Бахур [и др.] // АНРИ. – 2005. – №4(43). – С. 21-25.
6. Бахур, А.Е. Po-210 и Pb-210 в объектах окружающей среды. Методы определения. / А.Е. Бахур, Л.И. Мануилова, Т.М. Овсянникова // АНРИ. – 2009. – № 1(56). – С. 29-40.
7. Искра, А.А. Естественные радионуклиды в биосфере / А.А. Искра, В.Г. Бахуров. – М.: Энергоиздат, 1981. – 124 с.
8. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. – М.: МЗ СССР, 1980. – 88 с.
9. Методика выполнения измерений. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой и сельскохозяйственной продукции, почвы и других объектов внешней среды. Свидетельство ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Федерального государственного агентства по техническому регулированию и метрологии № 1730/08 от 08 декабря 2008 г. – 21 с.
10. Методические рекомендации МР 2.6.1.0064-12 «Радиационный контроль питьевой воды методами радиохимического анализа». – М. Федеральное агентство по гигиене и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 63 с.
11. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. – М.: Федеральное агентство по гигиене и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
12. Динамика радиоактивного загрязнения пищевых продуктов сельскохозяйственного производства и природного происхождения после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Н. Шутов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2008. – Т.1, № 3. – С. 25-30.
13. Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения / М.: Федеральное агентство по санитарному надзору Минздрава России, 2002. – 22 с.
14. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly, VI: Sources. UN, NY, 2000. 654 p.

**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

An article contents the results of investigation of natural radium isotopes content in the main dose forming foodstuffs of agricultural production and natural origin traditionally consumed by population of the territories, contaminated after the accident on Chernobyl NPP. The new method is given for the investigation of radium isotopes (^{228}Ra and ^{226}Ra) content in the foodstuffs from a sample of about 1,5 kg weight with minimal detectable activity not more than 0,05 Bq. The method is more suitable and simple for realization than now existing. Investiga-

tions are carrying out beginning from 2018 up to present time. Estimation of potential maximal average annual population internal exposure dose (Eint) is carried out due to ^{228}Ra and ^{226}Ra content in the main dose forming foodstuffs which are consumed by the local population. For the estimation of the internal exposure doses we used the data on the food rations of adult population obtained from the questionnaire of local population, carried out in the frames of Federal Program of Rospotrebnadzor in the period of 2010-2015. It is demonstrated that population internal exposure dose even from several natural radionuclides (^{228}Ra and ^{226}Ra) taking into account consumption of a limited set of foodstuffs could exceed the exposure dose from artificial radionuclide in 12 times even for the territories radioactively contaminated after the Chernobyl NPP accident.

Key words: *natural radionuclides, population internal exposure dose, foodstuffs, methods for specific activity obtaining, radiochemical analysis*

Поступила 11.03.2019