

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(30)

2023 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 25.09.23
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 120 экз.
Усл. печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 9,54.
Зак. 556.

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), 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 (к.м.н., доцент, отв. секретарь), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаяев (к.м.н., доцент), Д.В. Кравченко (к.м.н.), А.Н. Лызинов (д.м.н., профессор), А.В. Макарич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), В.М. Мишура (д.м.н., доцент), Я.Л. Навменова (к.м.н., доцент), Э.А. Надьров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), 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. Саивончик (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), Д.А. Базыка (д.м.н., профессор, Киев), А.П. Бирюков (д.м.н., профессор, Москва), 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), 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), 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 (МЗ РБ, Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Д. Тронько (д.м.н., чл.-кор. НАН, акад. НАМН Украины, Киев), А.Л. Усс (д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (д.м.н., профессор, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Адрес редакции 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,

ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека», 2023

№ 2(30)

2023

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**Reviews and problem articles**

С.В. Зыблева, Ю.И. Рожко, А.В. Жарикова, Б.О. Кабешев, С.Л. Зыблев

S.V. Zybleva, Yu.I. Rozhko, A.V. Zharikova, B.O. Kabeshev, S.L. Zyblev

Роль N-ацетилцистеина в терапии заболеваний, характеризующихся окислительным стрессом (обзор литературы) 6

The role N-acetylcysteine (nac) in the therapy of diseases characterized by oxidative stress (literature review)

Медико-биологические проблемы**Medical-biological problems**

Н.Н. Веялкина, Л.А. Белая, О.С. Аксёненко, А.Е. Сусленкова, Е.А. Медведева

N.N. Veialkina, L.A. Belaia, O.S. Aksenenko, A.E. Suslenkova, E.A. Medvedeva

Влияние хронического рентгеновского облучения в малых дозах на грудной отдел в эксперименте 17

Effect of chronic X-ray irradiation in low doses on the thoracic region in an experiment

И.Е. Гурьянова, Е.А. Полякова, К. Суффритти, Л.Б. Коростелева, С.Н. Алешкевич, Ю.С. Жаранкова, М.В. Белевцев

I.E. Guryanova, E.A. Polyakova, C. Suffritti, L.B. Korosteleva, S.N. Aleshkevich, Y.S. Zharankova, M.V. Belevtsev

Клиническая эффективность применения метода по определению расщепленного высокомолекулярного кининогена в диагностике наследственного ангиоотека 23

Clinical efficiency of the cleaved high-molecular-weight kininogen detection in the diagnosis of hereditary angioedema

А.-М.В. Ерофеева, С.В. Пинчук, С.Н. Рябцева, А.Ю. Молчанова

A.-M. Yerofeyeva, S. Pinchuk, S. Rjabceva, A. Molchanova

Активация каннабиноидных рецепторов II типа как вариант потенцирования мезенхимальных стволовых клеток в модели периферической нейропатической боли 29

Activation of type II cannabinoid receptors as variant for mesenchymal stem cell potentiation in a model of peripheral neuropathic pain

Я.И. Исайкина, В.В. Солодовникова, Р.Л. Фролова, Ю.В. Савич, А.А. Жерносеченко, Е.М. Скрыгина

Y. Isaikina, V. Solodovnikova, R. Frolova, U. Savich, H. Zhernasechanka, A. Skrahina

Мезенхимальные стволовые клетки из костного мозга пациентов с лекарственно-устойчивым туберкулезом для применения в клеточной терапии 40

Mesenchymal stem cells from bone marrow of patients with drug-resistant tuberculosis for cellular therapy

М.В. Кадука, Т.А. Бекяшева, С.А. Иванов, В.В. Ступина

M.V. Kaduka, T.A. Bekjasheva, S.A. Ivanov, V.V. Stupina

Содержание изотопов урана в некоторых видах пищевых продуктов. Оптимизация метода определения 46

Uranium isotopes content in the certain types of foodstuffs. Optimization of the analytical method

Е.К. Нилова, К.Н. Буздалкин		E.K. Nilova, K.N. Buzdalkin	
Геометрический фактор для оценки плотности загрязнения почвы <i>in-situ</i>	54	Geometry factor for <i>in-situ</i> soil contamination density estimation	
А.М. Островский, И.Н. Коляда		A.M. Ostrovsky, I.N. Kolyada	
Анализ смертности населения Гомельской области от инфекционных и паразитарных болезней в 2009-2019 гг.	62	Mortality analysis of the Gomel region population from infectious and parasitic diseases in 2009-2019	
Н.В. Поклонская, Ю.А. Шилова, Т.В. Амвросьева		N.V. Paklonskaya, Yu.A. Shilova, T.V. Amvrosieva	
Метод мультиплексной полимеразной цепной реакции для диагностики вирусной кишечной инфекции неуточненной	69	Multiplex polymerase chain reaction method for the diagnosis of unspecified viral acute gastroenteritis	

Клиническая медицина

Clinical medicine

Л.И. Данилова, В.А. Рожко, И.В. Веялкин, И.Г. Савастеева, С.Н. Никонович, Т.М. Шаршакова		L.I. Danilova, V.A. Rozhko, I.V. Veyalkin, I.G. Savasteeva, S.N. Nikonovich, T.M. Sharshakova	
Клинико-лабораторные особенности аутоиммунного тиреоидита у субъектов когорты по результатам скрининга	74	Clinical and laboratory features of autoimmune thyroiditis in subjects of the cohort according to the results of screening	
А.Ю. Захарко, А.С. Подгорная, О.В. Мурашко, Т.В. Статкевич, А.Р. Ромбальская		A.Yu. Zaharko, A.S. Podgornaya, O.V. Murashko, T.V. Statkevich, A.R. Rombalskaya	
Течение беременности, родов, состояние фетоплацентарного комплекса у женщин с абдоминальным ожирением и гипертензивными расстройствами	88	Course of pregnancy, delivery, the state of the fetoplacental complex in women with abdominal obesity and hypertensive disorders	
В.В. Крюков		V.V. Kryukov	
Состояние когнитивной сферы участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС	95	The state of the cognitions of clean-up workers of the consequences of the Chernobyl accident	
Д.М. Лось, В.С. Волчек		D. Los', V. Volchek	
Оценка осведомленности женского населения Гомельской области о профилактике и ранней диагностике рака молочной железы	106	Assessment of awareness of the female population of Gomel region about prevention and early diagnosis of breast cancer	
Н.А. Песковая, А.В. Солнцева		N.A. Peskavaya, A.V. Solntsava	
Факторы снижения минеральной плотности костной ткани у детей с синдромом Шерешевского-Тернера	111	Factors of reduced bone mineral density in children with Turner syndrome	

Обмен опытом**Experience exchange**

Н.А. Метляева, А.Ю. Бушманов, И.А. Галстян, В.Ю. Нугис, М.В. Кончаловский, О.В. Щербатых, Ф.С. Торубаров, Е.О. Нечаева, А.С. Кретов, В.В. Кореньков

N.A. Metlyeva, A.Yu. Bushmanov, I.A. Galstyan, V.Yu. Nugis, M.V. Konchalovsky, O.V. Shcherbatykh, F.S. Torubarov, E.O. Nechaeva, A.S. Kretov, V.V. Korenkov

Психофизиологическая оценка индивидуальных особенностей личности у двух пациентов с тяжелыми местными лучевыми поражениями кистей рук и острой лучевой болезнью I степени (30 лет наблюдения)

Psychophysiological Assessment of Individual Personality in Two Patients with Severe Local Radiation Injuries (LRI) of Hand and Acute Radiation Sickness (ARS) I Degree (30 Years of Follow-up)

СОДЕРЖАНИЕ ИЗОТОПОВ УРАНА В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

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

В статье приведены результаты исследования содержания природных изотопов урана ^{238}U , ^{234}U в некоторых видах пищевых продуктов, отобранных на дачных участках в Ленинградской области и в торговой сети г. Санкт-Петербург. Предложен более совершенный и простой для реализации исполнителями, чем существующие, метод определения содержания изотопов урана (^{238}U , ^{234}U и ^{235}U) в пищевых продуктах из объема пробы не более 1,0 кг, с минимально измеряемой активностью счетного образца не более 0,02 Бк. Радиохимические исследования отобранных проб проводились в период с 2018 по 2020 гг. Выполнена оценка потенциальной среднегодовой дозы внутреннего облучения населения (E_{int}) за счет содержания ^{238}U и ^{234}U в хлебных продуктах, черном листовом чае, пряных травах и столовой зелени, потребляемых местным населением. Показано, что доза внутреннего облучения населения за счет изотопов урана в исследованных видах пищевых продуктов может составлять 0,0000022 мЗв/год. Данное значение является лишь малой частью дозы облучения населения от урана, а тем более от ПРН в пищевых продуктах, при этом для растворимых соединений природной смеси изотопов урана токсический эффект его воздействия как химического элемента на органы и системы человека преобладает над радиационным.

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

Введение

Содержание природных радионуклидов (ПРН) в пищевых продуктах определяет существенную долю суммарной дозы внутреннего облучения населения [1]. Природный уран состоит из смеси трех изотопов: ^{238}U (родоначальник соответствующего ряда распада), его дочерний продукт распада ^{234}U и ^{235}U , также являющийся родоначальником ряда радиоактивного распада. Удельная активность ^{235}U в природном уране существенно меньше удельной активности ^{238}U . Соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в природных водах находится в диапазоне 1-8 [2]. При этом, основными дозообразующими радионуклидами являются два природных изотопа урана ^{238}U и ^{234}U . Содержание урана в почвах, определяемое прежде всего его концентрацией в

материнских породах, в среднем варьирует в интервале 0,7-11 мг/кг (в почвах сельскохозяйственного пользования, в которые периодически вносятся фосфорные удобрения с высоким содержанием урана, содержание этого элемента достигает 15 мг/кг). Запас ^{238}U в пахотном слое сельскохозяйственных площадей составляет $1,4 \times 10^{17}$ Бк [3]. Уран накапливается во всех частях растений, причем распределен в них крайне неравномерно, больше всего в корнях. Активными концентраторами урана являются мхи, лишайники, грибы и водоросли [3, 4]. Значения удельной активности ПРН, в том числе изотопов урана, в одном и том же виде пищевого продукта, по данным отчета НКДАР ООН [5], даже для территории одного государства могут отличаться на несколько порядков величины.

Так, например, содержание ^{238}U в листовой зелени, произведенной на территории Германии, может варьировать в диапазоне 0,006-2,200 Бк/кг, т.е. различаться в 360 раз, в корнеплодах и фруктах – в диапазоне 0,010-2,900 Бк/кг, т.е. различаться более чем на два порядка величины. Содержание ^{235}U в рыбных продуктах Северной Америки может варьировать в диапазоне 0,0004-0,0900 Бк/кг, т.е. различаться в 360 раз, в корнеплодах и фруктах – в диапазоне 0,010-2,900 Бк/кг, т.е. различаться так же более чем на два порядка величины. Данные о содержании ^{234}U в пищевых продуктах в отчете [5] не представлены. Основные депо урана в организме человека: селезенка, почки, скелет, печень, легкие и бронхо-легочные лимфатические узлы [3]. Данных о содержании природных изотопов в питьевой воде в научной литературе достаточно. Так по результатам наших исследований для подавляющего большинства водоемов Санкт-Петербурга и Ленинградской области (93,1%) значение удельной активности ^{238}U не превышает 0,02 Бк/кг, ^{234}U – 0,04 Бк/кг [2] при уровне вмешательства по содержанию данных радионуклидов в воде, определенных приложением 2а к НРБ-99/2009 – 2,8 и 3,0 Бк/кг [6], соответственно. Однако данных о содержании природных изотопов урана в пищевых продуктах, являющихся основным источником поступления данного радионуклида в организм человека крайне мало, они весьма разрознены и датируются, в основном 60-80 годами прошлого века. Можно предположить, что такая ситуация обусловлена прежде всего отсутствием современных удобных методов определения ПРН, в том числе изотопов урана на уровнях их фоновых значений, то есть с применением методов радиохимического анализа. Для определения содержания ПРН в пищевых продуктах обычно используются сложные способы пробоподготовки самого продукта перед анализом, в ходе анализа применяются агрессивные реактивы, предлагаемые приемы радиохимического выделения и концентрирования являются весь-

ма трудоемкими. Современных методов определения содержания изотопов урана в пищевых продуктах в настоящее время в научной 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 [7]. 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 выделению урана из-за образования его прочных химических соединений с фосфатами или устойчивых, трудно разрушаемых комплексов, в состав которых, чаще всего, включается и железо. Активность ^{234}U из-за его низкого содержания в природном уране (массовая доля равновесного ^{234}U составляет лишь 0,0057%, хотя его активность в водах может превышать активность ^{238}U в 10 и более раз) определяется практически только по собственному альфа-излучению [8]. Одним из классических методов определения активности изотопов урана является альфа-спектрометрический метод с предварительным радиохимическим выделением изотопов урана из пробы. По интенсивности альфа-излучения в «урановых» энергетических интервалах можно с высокой точностью определить массовую или объемную активность изотопов урана (^{238}U , ^{234}U , ^{235}U).

Методики, используемые для очистки изотопов урана от присутствующих компонентов, и, далее, их селективного отделения от мешающих альфа-излучателей, включают жидкостную экстракцию, ионообменную и экстракционную хроматографию. В некоторых случаях необходимо сочетание нескольких из перечисленных методов. Существует множество вариантов выделения урана из концентрата с помощью ионообменных смол и разнообразных экстрагентов. Экстракция осуществляется органическими кислотами, кетонами, простыми и сложными эфирами, спиртами и органиче-

скими производными фосфорной кислоты. Ионообменные смолы используются как коммерческие, так и специально модифицированные (чаще всего это анионообменные смолы). Счетный образец готовится различными способами: выпариванием, соосаждением на гидроксиде или фториде редкоземельного элемента и электролитическим осаждением на металлической подложке [8-10]. В последние годы, особенно за рубежом, для измерения урана используется масс-спектральный метод [8] с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Однако масс-спектрометры не доступны для большинства лабораторий из-за достаточно высокой стоимости и высоких требований к квалификации измерителя. В России данный метод имеет ограниченное применение.

В связи с вышеизложенным в радиохимической лаборатории института был разработан оптимальный метод определения содержания ПРН, в том числе изотопов урана в пищевых продуктах. Метод оформлен в виде документа МР 2.6.1/2.3.7.0216-20 «Радиохимическое определение удельной активности природных радионуклидов в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах», утвержденного Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 22.09.2020 г. Документ в настоящий момент представлен в свободном доступе в сети Интернет и может быть использован в работе заинтересованными специалистами.

Материал и методы исследования

Объектами в данной работе являются пищевые продукты, отобранные на дачных участках Ленинградской области и в торговой сети г. Санкт-Петербург. Контролируемыми параметрами при проведении исследований являлись удельные активности природных радионуклидов ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U в пищевых продуктах: хлеб черный, батон, столовая зелень (выращенная на дачных участках), молоко, чай черный цейлонский. Исследования с целью разработки оптимизированного метода определения изотопов урана проводились в 2018- 2020 годах.

Метод определения удельной активности альфа-излучающих изотопов урана в пищевых продуктах основан на хроматографическом выделении изотопов урана на ионообменной колонке с использованием полифункционального низкоосновного анионита конденсационного типа ЭДЭ-10П с последующим электролитическим осаждением на диск из нержавеющей стали. Активность полученного таким образом счетного образца измеряют с использованием полупроводникового альфа-спектрометра.

Отобранные пробы пищевых продуктов высушивают в сушильном шкафу при температуре 100-150°C, затем сжигают на плитке и озоляют в муфельной печи при 600-700°C для удаления органики. Озоленную пробу помещают в стакан емкостью 200 мл, вносят растворы носителей: хлорид бария и хлорид железа, добавляют изотопный индикатор ^{232}U , активность которого не должна превышать ожидаемых в пробе активностей изотопов урана более чем в 5-10 раз. Пробу заливают 100-200 мл 6 Н НСl и кипятят 1,5-2 часа при периодическом помешивании стеклянной палочкой. Раствор отфильтровывают, используя обеззоленный фильтр «белая лента». Для полного перевода в раствор радионуклидов радия и урана после фильтрования нерастворившийся осадок переносят дистиллированной водой в стакан емкостью 200 мл, добавляют 5-7 г Na_2CO_3 , доводят до 100-120 мл и кипятят в течение 1,5 часов, периодически добавляя воду до первоначального объема. Полученный осадок карбонатов радия-бария отфильтровывают, используя обеззоленный фильтр «синяя лента». Фильтрат после отделения сульфатов бария-радия кипятят в стакане емкостью 800 мл не менее 30 минут для удаления CO_2 . Затем безугольным аммиаком при pH=9 осаждают гидроксиды железа, содержащие изотопы урана, тория и редкоземельных элементов. Осадок отфильтровывают через обеззоленный фильтр «красная лента», промывают 2-3 раза горячей дистиллированной водой и растворяют в 2 Н НСl. Полученный раствор разбавляют

до объема 500-700 мл дистиллированной водой, добавляют 10-15 мл карбоната аммония и при нагревании вновь осаждают гидроокиси железа, содержащие изотопы урана, тория и редкоземельных элементов ($\text{pH}=8-9$), используя раствор аммиака до полной коагуляции осадка. После отстаивания осадок отфильтровывают через обеззоленный фильтр «белая лента» и промывают 2-3 раза дистиллированной водой. Данная операция необходима для отделения соединений урана от соединений тория и редкоземельных элементов. К фильтрату, содержащему карбонатный комплекс урана, добавляют 10-15 мл смеси концентрированных HCl и HNO_3 в соотношении 1:1 и упаривают его до влажных солей.

К влажным солям карбонатного комплекса урана добавляют минимальный объем (10-15 мл) смеси концентрированных HCl и HNO_3 (1:1) и медленно упаривают до образования влажных солей. Эту операцию повторяют несколько раз для полного разрушения карбонатного комплекса урана и удаления белого окрашивания осадка аммонийных солей. К подготовленным таким образом влажным солям урана добавляют минимальный объем (10-15 мл) концентрированной HCl и медленно упаривают до влажных солей для удаления HNO_3 . Данную операцию повторяют 2-3 раза до прекращения выделения из раствора бурых паров оксидов азота. Прекращение выделения бурых паров будет свидетельствовать о полном удалении HNO_3 из образца.

Обработанный упаренный остаток солей урана растворяют в 50 мл 8 Н HCl . Полученный раствор пропускают через колонку диаметром 10 мм с 15 мл анионообменной смолы со скоростью 1 мл/мин. Затем через колонку пропускают 70 мл 8 Н HCl для отделения изотопов тория от урана. Изотопы урана элюируют с колонки 0,5 Н HCl . Объем элюата должен составлять 100-150 мл, что обеспечивает полностью десорбции урана. Полученный раствор упаривают до влажных солей.

К влажным солям урана добавляют 5-10 мл концентрированной HCl и упаривают их до сухого остатка, добавляют

10 мл 0,5 Н HNO_3 и нагревают. В полученный раствор вносят 5 мл 1% раствора трилона Б, 1 мл насыщенного $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ и 1 мл 25% NH_4Cl . Доводят аммиаком pH раствора до 9 и переносят его в электролитическую ячейку, в которую предварительно помещают диск из нержавеющей стали, служащий мишенью для осаждения изотопов урана. стакан обмывают 5 мл дистиллированной воды. Промывные воды также переносят в электролитическую ячейку.

Электролиз проводят при силе тока 2 А в течение 0,5 часа. В ходе электролиза контролируют pH раствора, поддерживая его на уровне 9. За минуту до окончания электролиза в раствор добавляют 1 мл раствора аммиака. Разбирают ячейку, вынимают мишень, промывают ее этиловым спиртом и высушивают при комнатной температуре. Проводят измерение активности ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U в приготовленном счетном образце с применением полупроводникового альфаспектрометра и определение их удельной активности в исследуемой пробе.

Результаты исследования

В рамках разработки методики определения изотопов урана с целью оптимизации методов определения ПРН в пищевых продуктах в радиохимической лаборатории института в 2018-2020 гг. выполнили радиохимический анализ 10 проб пищевых продуктов, отобранных на дачных участках Ленинградской области и в торговой сети г. Санкт-Петербург. В результате проведенных исследований, теоретических и практических изысканий, разработан более совершенный и простой для реализации исполнителями, чем существующие, метод определения содержания природных изотопов урана в пищевых продуктах из объема пробы не более 1,0 кг, с минимально измеряемой активностью счетного образца не более 0,02 Бк. Удельную активность природных изотопов урана определили в 3 пробах хлеба, 2 пробах пряных трав, 3 пробах зелени и 2 пробах черного листового чая. Данные о содержании изотопов

урана в исследованных пробах представлены в таблице 1.

Как видно из представленных в таблице 1 данных, соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в черном хлебе близко к 3, в чае и в столовой зелени – к 2, в белом хлебе и в пряных травах к 1. При проведении измерений счетных образцов пиков ^{235}U ни для одной из исследованных проб не обнаружено. В счетных образцах, приготовленных из проб кинзы, рукколы, кресс-салата и черного чая, обнаружены следовые количества изотопов плутония (0,001-0,006 Бк), что косвенно указывает на возможность их количественного соосаждения на диск при проведении электролитического выделения изотопов урана.

Средние значения удельной активности ^{238}U и ^{234}U и диапазоны данных показателей в пробах проанализированных продуктов приведены в таблице 2.

На основании полученных данных выполнили оценку потенциальной среднегодовой дозы внутреннего облучения населения (E_{int}) за счет содержания изотопов урана в

некоторых видах продуктов, потребляемых местным населением, а именно: в хлебе, черном чае, пряных травах и столовой зелени. Для расчета доз внутреннего облучения использовали данные по потреблению хлеба взрослым городским населением по доступным данным Росстата за 2018 г. [11], по потреблению чая – из Интернет-ресурса [12]. Данные по потреблению населением пряных трав и столовой зелени получены в результате опросов взрослых жителей территорий, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС, проведенных в рамках «Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» в 2019-2022 гг. Дозовые коэффициенты для перорального поступления изотопов урана в организм взрослого населения приведены в Приложении 2а к НРБ-99/2009 [6] – 0,000045 мЗв/Бк для ^{238}U и 0,000049 мЗв/Бк для ^{234}U . При расчете потенциальной среднегодовой дозы

Таблица 1 – Удельная активность ^{238}U и ^{234}U в пробах пищевых продуктов, отобранных на дачных участках Ленинградской области и в торговой сети г. Санкт-Петербург, Бк/кг

Вид продукта	Место отбора	Удельная активность, Бк/кг	
		^{238}U	^{234}U
Хлеб «Дарницкий», черный	Торговая сеть	0,052±0,026	0,158±0,063
Хлеб зерновой	Торговая сеть	0,064±0,032	0,176±0,088
Батон «Московский», белый	Торговая сеть	0,020±0,010	0,026±0,013
Чай «Гринфилд», черный	Торговая сеть	0,030±0,015	0,052±0,021
Чай «Гринфилд», черный	Торговая сеть	0,034±0,017	0,060±0,024
Горчица (пряная трава)	п. Заневское	0,028±0,014	0,020±0,010
Кинза (пряная трава)	п. Дивенская	0,006±0,003	0,006±0,003
Шпинат (столовая зелень)	п. Дивенская	0,018±0,009	0,036±0,018
Руккола (столовая зелень)	п. Синявино	0,004±0,002	0,008±0,004
Кресс=салат (столовая зелень)	п. Дивенская	0,020±0,010	0,036±0,018

Таблица 2 – Средние значения и диапазоны значений удельной активности ^{238}U и ^{234}U в пробах пищевых продуктов, отобранных на дачных участках Ленинградской области и в торговой сети г. Санкт-Петербург, Бк/кг

Вид продукта	Число проб	Удельная активность ^{238}U , Бк/кг		Удельная активность ^{234}U , Бк/кг	
		Среднее	Диапазон	Среднее	Диапазон
Хлеб черный	2	0,058	0,052-0,064	0,167	0,158-0,176
Хлеб белый	1	0,020	-	0,026	-
Чай черный	2	0,032	0,030-0,034	0,056	0,052-0,060
Пряные травы	2	0,017	0,006-0,028	0,016	0,006-0,020
Столовая зелень	3	0,014	0,004-0,020	0,027	0,008-0,036

Таблица 3 – Оценочные значения доз внутреннего облучения взрослых жителей за счет содержания природных изотопов урана в некоторых видах пищевых продуктов: $E_{int} (^{238}\text{U})$, $E_{int} (^{234}\text{U})$, мЗв/год

Вид продукта	Потребление, кг/год	$A(^{238}\text{U})$, Бк/кг	$E_{int} (^{238}\text{U})$, мЗв/год	$A(^{234}\text{U})$, Бк/кг	$E_{int} (^{234}\text{U})$, мЗв/год
Хлеб ржаной и прочий	14,1	0,058	0,000037	0,167	0,000115
Хлеб пшеничный	25,1	0,020	0,000024	0,026	0,000032
Чай черный	1,16	0,032	0,000002	0,056	0,000003
Пряные травы	1,0	0,017	0,000001	0,016	0,000001
Столовая зелень	3,0	0,014	0,000002	0,027	0,000004
E_{int} суммарная по всем продуктам			0,000064		0,000155
$E_{int} (^{238}\text{U}+^{234}\text{U})$			0,000022		

внутреннего облучения населения (E_{int}) за счет содержания изотопов урана в пищевых продуктах, использовали средние значения удельной активности изотопов урана – $A(^{238}\text{U})$ и $A(^{234}\text{U})$ без учета неопределенности измерений. Полученные оценочные значения потенциальных доз облучения населения за счет природных изотопов урана, содержащихся в исследованных пищевых продуктах, приведены в таблице 3.

В результате проведенных расчетов получили оценочное значение дозы внутреннего облучения: $E_{int} (^{238}\text{U}+^{234}\text{U})$ за счет содержания изотопов урана в потребляемых хлебных продуктах, чае, пряных травах и столовой зелени равное 0,0000022 мЗв/год. Данное значение является лишь малой частью дозы облучения от урана, а тем более от ПРН в пищевых продуктах, а именно, дозой за счет содержания только двух изотопов и только в пяти видах пищевых продуктов, потребление которых в год не велико, по сравнению с потреблением основных продуктов рациона.

Заключение

Естественная радиоактивность растений и животных обусловлена поглощением ими радиоактивных веществ, которые встречаются в природе. Основными дозобразующими 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 аль-

фа- и бета-излучения самого ^{226}Ra и его дочерних продуктов распада. ^{210}Po и ^{210}Pb являются наиболее биологически опасными из всей группы природных радионуклидов. Основные депо урана в организме человека: селезенка, почки, скелет, печень, легкие и бронхо-легочные лимфатические узлы [3]. При этом установлено, что для растворимых соединений природной смеси изотопов урана токсический эффект воздействия урана на почки, как химического элемента, преобладает над радиационным воздействием. При пероральном поступлении урана в организм человека токсическое воздействие оказывается на сердечно-сосудистую и кроветворную систему, щитовидную железу, надпочечники и печень [13]. Для определения содержания ПРН в пищевых продуктах обычно используют сложные способы пробоподготовки самого продукта перед анализом, в ходе анализа применяются агрессивные реактивы, предлагаемые приемы радиохимического выделения и концентрирования являются весьма трудоемкими, ввиду чего данных о содержании ПРН в пищевых продуктах в доступной литературе крайне мало и датируются они в основном 70-80 годами прошлого века. Для решения данной проблемы в радиохимической лаборатории института был разработан оптимальный метод определения содержания ПРН, в том числе изотопов урана в пищевых продуктах. Метод оформлен в виде документа МР 2.6.1/2.3.7.0216-20 «Радиохимическое определение удельной активности при-

родных радионуклидов в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах», который в настоящий момент представлен в свободном доступе в сети Интернет и может быть использован в работе заинтересованными специалистами. Метод радиохимического определения содержания ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U в пищевых продуктах позволяет определить удельные активности перечисленных изотопов из объема пробы не более 1,5 кг с минимально измеряемой активностью не более 0,05 Бк. При разработке метода были определены удельные активности перечисленных изотопов в разных видах пищевых продуктов, результаты исследования приведены в работах [14-15] и в настоящей работе.

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 Федерации / Г.Г. Онищенко [и др.] // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10(3). С. 18-35.
2. Содержание изотопов урана в подземных источниках водоснабжения населения Ленинградской области и Санкт-Петербурга / М.В. Кадука [и др.] // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 74-82.
3. Биогеохимия радионуклидов: учебник / С.П. Торшин, Г.А. Смолина. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 320 с.
4. Искра, А.А. Естественные радионуклиды в биосфере / А.А. Искра, В.Г. Бахуров. – М.: Энергоиздат, 1981. – с. 42.

5. 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.

6. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. – М. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

7. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А.Н. Мареева и А.С. Зыковой. – М.: МЗ СССР, 1980. – 88 с.

8. Новая методика ускоренного определения объемной активности изотопов урана в водных пробах / А.Е. Бахур [и др.] // АНРИ. – 2012. – Т. 68(1). – С. 2-4.

9. Аналитическая химия урана / Под редакцией академика А.И. Виноградова. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1962. – 430 с.

10. Уран. Методы его определения / В.К. Марков [и др.]. – М.: Атомиздат, 1964. – 430 с.

11. Федеральная служба государственной статистики. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах в 2018 году. Дата доступа: 07.04.2020. Режим доступа: https://www.gks.ru/bgd/regl/b19_101/Main.htm.

12. Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр» Рынок чая России в 2001-2016 гг. Дата доступа: 08.04.2020. Режим доступа: <https://ab-centre.ru/news/rynok-chaya-rossii-v-2001-2016-gg>

13. Новиков, Ю.В. Гигиенические вопросы изучения содержания урана во внешней среде и его влияние на организм / Ю.В. Новиков. – М.: Медицина, 1974. – 232 с.

14. Содержание изотопов радия в основных дозообразующих продуктах, на территориях, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС. Оптимизация метода определения / М.В. Кадука [и др.] // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2019 – № 2(22). – С. 36-43.

15. Содержание ^{210}Po и ^{210}Pb в некоторых видах пищевых продуктов. Оптимизация метода определения / М.В. Кадука [и др.] // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13. – №. 2. – С. 65-74.

M.V. Kaduka, T.A. Bekjasheva, S.A. Ivanov, V.V. Stupina

URANIUM ISOTOPES CONTENT IN THE CERTAIN TYPES OF FOODSTUFFS. OPTIMIZATION OF THE ANALYTICAL METHOD

An article contents the results of investigation of natural uranium isotopes content in the certain types of foodstuffs sampled in the kitchen gardens located in Leningrad region and bought in the trade network of Saint-Petersburg. More suitable and simple for realization than existing method is given for uranium isotopes (^{238}U , ^{234}U , ^{235}U) content investigation in the foodstuffs from a sample with not more than 1,0 kg weight with minimal detectable activity not more than 0,02 Bq. Radiochemical investigations were carried out in 2018-2020. Estimation of potential

average annual population internal exposure dose (E_{int}) have been carried out due to ^{238}U and ^{234}U content in the bread foodstuffs, black leaf tea, spicy herbs and salad greenery consumed by the local population. It is demonstrated that population internal exposure dose from uranium isotopes in the investigated types of foodstuffs could be about 0,000022 mSv/year. Estimated dose value is only small part of population internal exposure dose from uranium and even more so from total composition of natural radionuclides in the foodstuffs. At the same time toxic effect from soluble uranium as a chemical element prevails over its radiation effect.

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

Поступила 03.08.23