

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(20)

2018 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 28.09.18
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 200 экз.
Усл. печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 9,13.
Зак. 69.

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. Вейлякин (к.б.н., доцент),
А.В. Воропаева (к.м.н., доцент), В.В. Евсеенко (к.пс.н.),
С.В. Зыблева (к.м.н., отв. секретарь), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), И.Н. Коляда (к.м.н.), А.В. Коротаев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызииков (д.м.н., профессор), А.В. Макарович (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.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент), И.П. Ромашевская (к.м.н.), М.Г. Русаленко (к.м.н.),
А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин (к.б.н.), 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), 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 (Начальник Главного управления организации медицинской помощи 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 (Первый заместитель министра здравоохранения РБ, Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Д. Тронько (д.м.н., профессор, Киев), 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», 2018

№ 2(20)

2018

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

Е.С. Пашинская, В.В. Поляржин, В.М. Семенов

Роль микроРНК одноклеточных типа *Apicomplexa* в системе паразит-хозяин (обзор литературы)

6

Медико-биологические проблемы

И.В. Веялкин, С.Н. Никонович, А.А. Чешик, А.В. Рожко

Заболеваемость злокачественными новообразованиями детей, рожденных в семьях родителей, облученных вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, в Республике Беларусь

17

Н.Г. Власова

Оценка средней годовой эффективной дозы внешнего облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь для зонирования территории

25

Ж.А. Гладкова, Н.Е. Алейникова, Т.Е. Кузнецова, А.В.Бойко, В.В.Пономарев, А.М. Устемчук, Д.Б. Нижегородова

Ротеноновые модели синдрома паркинсонизма *in vivo*.

31

Е.Ф. Мицура, Л.И. Волкова

Наследственный сфероцитоз в структуре гемолитических анемий у детей и его клиническое течение в Республике Беларусь

39

А.Е. Силин, Д.К. Новик, В.Н. Мартинков, В.В. Кошкевич, А.В. Воропаева, А.А. Силина, И.Б. Тропашко, С.М. Мартыненко

Молекулярно-генетическая диагностика Ph-негативных хронических миелопролиферативных заболеваний

45

Р.К. Спиров, А.Н. Никитин

Конверсионные дозовые коэффициенты трансураниевых элементов для растений зоны отчуждения Чернобыльской АЭС

52

Reviews and problem articles

E.S. Pashinskaya, V.V. Pabiarzhyn, V.M. Semenov

The role of single-celled Apicomplexa microRNAs to the parasite-host system

Medical-biological problems

I.V. Veyalkin, S.N. Nikonovich, A.A. Cheshik, A.V. Rozhko

The cancer incidence in children born of parents affected by Chernobyl disaster in the Republic of Belarus

N.G. Vlasova

Assessment of the average annual effective external exposure doses of the settlements of the Republic of Belarus for territory zoning

Z.A. Hladkova, N.Y. Aleinikava, T.Y. Kuznetsova, A.V. Boika, V.V. Ponomarev, A.M. Ustiamchuk, D.B. Nizheharodava

Rotenon models of parkinsonism syndrome *in vivo*

E.F. Mitsura, L.I. Volkova

Hereditary spherocytosis in the structure of hemolytic anemia in children and its clinical course in the Republic of Belarus

A.Silin, D. Novik, V. Martinkov, V. Koshkevich, A. Voropaeva, A. Silina, I. Tropashko, S. Martynenko

Molecular genetic testing of Ph-negative chronic myeloproliferative diseases

R.K. Spirov, A.N. Nikitin

Conversion dose coefficients of transuranium elements for plants in the exclusion zone of the Chernobyl NPP

Клиническая медицина**Clinical medicine**

А.В. Величко, В.В. Похожай, З.А. Дундаров, С.Л. Зыблев

Клинико-экономическое обоснование использования новых алгоритмов диагностики и хирургического лечения пациентов с первичным гиперпаратиреозом 58

**С.В. Зыблева, С.Л. Зыблев, О.П. Логинова, М.Г. Шитикова, А.В. Величко, Б.О. Кабешев, Д.Л. Дугин, Е.М. Бредихин, Е.А. Сви-
стунова**

Диагностикум для оценки иммунологической реактивности при трансплантации почки 66

А.Г. Карапетян

Оценка функционального состояния дыхательной системы у армянских ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС 72

Ф.Л. Кутарев, С.А. Игумнов

Особенности социального функционирования лиц, злоупотребляющих алкоголем 78

А.Б. Малков

Доклиническая диагностика дистальной диабетической полинейропатии нижних конечностей 84

Л.П. Мамчиц

Территориально-временная характеристика заболеваемости туберкулезом населения Гомельской области в пост-чернобыльский период 92

О.В. Пархоменко, Э.А. Повелица, В.А. Доманцевич, В.Н. Подгайский, А.М. Шестерня

Артериальный тромбоз эпигастрико-пенильного анастомоза после реконструктивных операций при артериогенной эректильной дисфункции 99

А.С. Подгорная, А.Ю. Захарко, Н.Н. Шибяева, А.И. Козлова, Л.П. Коршунова, А.В. Марченко, О.В. Мурашко

Тамоксифен-индуцированная патология эндометрия 105

A.V. Velichko, V.V. Pokhozhay, Z.A. Dundarov, S.L. Zyblev

Clinical and economic substantiation of the use of new algorithms of diagnostics and surgical treatment of patients with primary hyperparathyroidism

S. Zybleva, S. Zyblev, O. Loginova, M. Shytikova, A. Velichko, B. Kabeshev, D. Dugin, E. Bredyhin, A. Svistunova

Diagnosticum for assessment of immunological reactivity at kidney allotransplantation

A.G. Karapetyan

Evaluation of the respiratory system functional state in the Armenian liquidators of Chernobyl NPP accident

F. L. Kutarev, S.A. Igumnov

Peculiarities of social functioning of the alcohol abusers

A. Malkov

Preclinical diagnostics of distal diabetic polyneuropathy of lower extremities

L.P. Mamchits

Territorial-time characteristics of the incidence of tuberculosis Gomel region population in the post-chernobyl period

O.V. Parhomenko, E.A. Povelitsa, V.A. Domantsevich, V.N. Podgaysky, A.M. Shesternya

Arterial thrombosis of epigastric-penile anastomosis after reconstructive operations with arteriogenic erectile dysfunction

A. Podgornaya, A. Zakharko, N. Shybaeva, A. Kozlova, L. Korshunova, A. Marchenko, O. Murashko

Tamoxifen-induced endometrial pathology

**Н.Н. Усова, А.Н. Цуканов, А.П. Савостин,
М.Л. Струк**

Терапевтические возможности Тио-
колхикозида при болях в спине

112

**N.N. Usova, A.N. Tsukanov, A.P. Savostin,
M.L. Struk**

Therapeutic possibilities of Thiocolchico-
side for back pain

Обмен опытом

Experience exchange

О.К. Доронина, Э.Н. Дейлидко

Основные методы диагностики храни-
ческого эндометрита у женщин с бес-
плодием

118

O. Doronina, E. Dailidka

The main methods of diagnostics of
chronic endometritis in women with in-
fertility

**С.А. Цуканова, А.В. Жарикова, А.Н. Цука-
нов, О.В. Кобылко**

Мультифокальная моторная невропа-
тия: клинический случай из практики

123

**S.A. Tsukanova, A.V. Zharikova, A.N. Tsu-
kanov, O.V. Kobylko**

Multifocal motor neuropathy: clinical
case from practice

КОНВЕРСИОННЫЕ ДОЗОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСТЕНИЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», г. Гомель, Беларусь

В работе представлены конверсионные дозовые коэффициенты трансураниевых элементов (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am) для надземных и подземных органов травянистых, кустарничковых растений, кустарников и древесных растений, произрастающих в условиях хронического облучения на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Показано, что значения коэффициентов составляют от $1,91 \times 10^{-3}$ до 6,14 для ^{241}Am , от $7,80 \times 10^{-3}$ до 4,42 для ^{238}Pu , от $1,97 \times 10^{-3}$ до 1,62 ($\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}$) \times ($\text{кБк} \times \text{м}^{-2}$) $^{-1}$ для $^{239+240}\text{Pu}$. Полученные конверсионные дозовые коэффициенты можно использовать для оценки доз облучения от трансураниевых элементов на популяции растений, произрастающих на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Ключевые слова: трансураниевые элементы, доза облучения, радиационная безопасность, радиационная защита биоты, дозовые коэффициенты

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в окружающую среду было выброшено 3,5-6,0% актинидов от накопленных за весь период работы реактора [1]. Трансураниевые элементы (ТУЭ) выпали преимущественно в ближней зоне отчуждения ЧАЭС [2]. На 2016 г., согласно [2], α -излучающие радионуклиды чернобыльского происхождения представлены долгоживущими изотопами 238 , 239 , ^{240}Pu и ^{241}Am . Наибольшие уровни загрязнения ТУЭ (более 37 кБк/м² или 1 Ки/км²) зафиксированы на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) в бывших населенных пунктах Масаны (Хойникский район) и Кулажин (Брагинский район). В связи с естественным распадом ^{241}Pu (β -излучатель, период полураспада 14,4 года) и образованием ^{241}Am (α -излучатель, период полураспада 432 года) вплоть до 2059 года будет наблюдаться увеличение активности этого радионуклида.

Хроническое облучение ТУЭ способно вызывать существенные отклонения в росте и развитии растений [3]. Фенотипические отклонения определяются в основном поражением меристем как наиболее чув-

ствительных к ионизирующему излучению тканей. Согласно литературным данным [1], за период, прошедший после аварии на Чернобыльской АЭС, содержание радионуклидов в растениях снизилось на 3-4 порядка величины вследствие уменьшения доли поверхностного загрязнения (активность радионуклида на поверхности надземных частей растений, отнесенная к общей удельной активности радионуклида в надземных частях растений) и перехода к корневому пути поступления. Тем не менее, Л.А. Чунихин и С.А. Тагай отмечают [4], что особенностью ТУЭ по сравнению с другими радионуклидами, определяющими радиационную обстановку в отдаленный период аварии (^{137}Cs и ^{90}Sr), является увеличение радиационной опасности со временем относительно долгоживущих радионуклидов, выброшенных в окружающую среду при аварии на Чернобыльской АЭС. До настоящего времени не выполнена оценка доз облучения ТУЭ популяций растений в зоне отчуждения ЧАЭС.

Поскольку по мере радиоактивного распада ^{137}Cs и ^{90}Sr ТУЭ станут основными дозообразующими радионуклидами на территории ПГРЭЗ, в рамках радиационной защиты биоты возникает задача оцен-

ки и прогноза доз облучения ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am для растений, произрастающих на территории ПГРЭЗ. Использование конверсионных дозовых коэффициентов (ДК) широко применяется в алгоритмах расчета доз облучения в программных продуктах (например, «ERICA Tool») [5]. Тем не менее, значения ДК зависят от особенностей перехода радионуклидов между компонентами экосистем. Поэтому для определения доз облучения от ТУЭ на растения ПГРЭЗ необходимо знать конверсионные дозовые коэффициенты ТУЭ, характерные для экотопов ПГРЭЗ.

Цель работы: определить конверсионные дозовые коэффициенты трансураниевых элементов для растений, произрастающих в условиях Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Объектами исследования являлись почва, а также травянистые, кустарничковые и древесные виды высших растений, произрастающие на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Программа исследования включала в себя следующие задачи:

1. определение содержания ТУЭ в почве, подземных и надземных органах растений пробных площадок ПГРЭЗ;
2. расчет эквивалентной дозы облучения ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am на надземные и подземные органы растений;
3. расчет конверсионных дозовых коэффициентов.

Материал и методы исследования

Отбор почвенных и растительных образцов проводили по общепринятым методикам [6] в 2015 г. на четырех площадках Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, отличающихся по степени загрязнения радионуклидами. Площадка I – суходольный луг, песчаная почва; площадка II – березняк разнотравный, почва дерново-подзолистая супесчаная; площадка III – сосняк мши-

стый, почва дерново-подзолистая супесчаная; площадка IV – черноольшаник крапивный, почва торфяная. При отборе почвы использовали модифицированный бур Малькова длиной пробоотборника 20 см и внутренним диаметром 4 см. Плотность загрязнения ТУЭ почвы пробных площадок представлена в таблице 1.

Выделение ТУЭ из образцов проводили методом радиохимического анализа [7]. Активность ТУЭ измеряли на α -спектрометрической системе Alpha Analyst от CANBERRA. Математическую обработку спектров проводили при помощи программного обеспечения Apex Alpha. Мощность поглощенной дозы ТУЭ от внутреннего источника рассчитывали по формуле:

$$P_{\alpha} = 1,38 \times 10^{-8} \times C \times f \times E, 1)$$

где P_{α} – мощность поглощенной дозы α -излучающего радионуклида в органе, выраженная в $\text{Гр} \times \text{сут}^{-1}$;

$1,38 \times 10^{-8}$ – коэффициент перехода от мегаэлектрон-вольт к джоулям;

C – удельная активность радионуклида, $\text{Бк} \times \text{кг}^{-1}$ (на сырую массу);

f – выход данного вида излучения на распад;

E – энергия частиц, МэВ [8].

Мощность эквивалентной дозы ТУЭ рассчитывали по формуле:

$$H_{\alpha} = P_{\alpha} \times w_{\alpha}, 2)$$

где H_{α} – мощность эквивалентной дозы α -излучающего радионуклида в органе, выраженная в $\text{Зв} \times \text{сут}^{-1}$;

P_{α} – мощность поглощенной дозы α -излучающего радионуклида в органе, выраженная в $\text{Гр} \times \text{сут}^{-1}$;

Таблица 1 – Плотность загрязнения почвы пробных площадок

Пробная площадка	Плотность загрязнения, $\text{кБк} \times \text{м}^{-2}$		
	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
I	15,79±2,37	38,03±5,71	96,82±14,52
II	11,44±1,72	22,85±3,43	79,89±11,98
III	7,22±0,64	16,03±1,40	48,58±10,14
IV	1,35±0,18	2,27±0,27	7,93±2,07

W_{α} – коэффициент качества α -излучения, равный 5 [9].

Конверсионные дозовые коэффициенты рассчитывали как отношение мощности эквивалентной дозы к плотности загрязнения пробной площадки.

Результаты исследования

Анализ конверсионных дозовых коэффициентов ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am для надземных и подземных органов травянистых растений представлен в таблице 2.

Значения ДК отличаются для подземных и надземных органов разных видов травянистых растений и варьируют в пределах: ^{238}Pu – от $9,26 \times 10^{-3}$ (генеративные органы *Vicia cracca*) до 4,42 (корни *V. cracca*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $2,27 \times 10^{-3}$ (генеративные органы *V. cracca*) до 1,52 (корни *Festuca ovina*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$, ^{241}Am – от $2,55 \times 10^{-3}$ (генеративные органы *V. cracca*) до 1,83 (корни *Poa pratensis*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$.

Конверсионные дозовые коэффициенты ТУЭ для надземных органов травяни-

стых растений ниже первого квартиля имели следующие виды: *P. pratensis*, *Artemisia absinthium*, *V. cracca*; для подземных органов: *Erysimum diffusum*, *Phragmites australis*, *Pteridium aquilinum*. Поскольку значение ДК_α прямо пропорционально значению дозы облучения α -излучающего радионуклида, то следует обратить внимание на виды, ДК которых выходят за пределы верхнего квартиля. Данные виды могут быть использованы при оценке хронического воздействия радиационного фактора на растения, произрастающие на территории ПГРЭЗ. Виды с наиболее высокими ДК (ДК > Q₃) представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что значения ДК ТУЭ для подземных органов превышают значения ДК для надземных на один-два порядка величины. В таблице 4 представлен анализ конверсионных дозовых коэффициентов ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am для надземных и подземных органов кустарничков и кустарников.

Значения конверсионных дозовых коэффициентов, как и в случае травянистых растений, отличаются для подземных и

Таблица 2 – Анализ ДК для травянистых растений, $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$

Изотоп	Медиана	Q ₁	Q ₃	Минимальное значение	Максимальное значение
Надземные органы					
^{238}Pu	$4,55 \times 10^{-2}$	$1,19 \times 10^{-2}$	$9,07 \times 10^{-2}$	$9,26 \times 10^{-3}$	$1,84 \times 10^{-1}$
$^{239+240}\text{Pu}$	$1,51 \times 10^{-2}$	$7,15 \times 10^{-3}$	$3,07 \times 10^{-2}$	$2,27 \times 10^{-3}$	$9,78 \times 10^{-2}$
^{241}Am	$2,17 \times 10^{-2}$	$1,03 \times 10^{-2}$	$3,18 \times 10^{-2}$	$2,55 \times 10^{-3}$	$2,62 \times 10^{-1}$
Подземные органы					
^{238}Pu	$5,91 \times 10^{-1}$	$3,87 \times 10^{-1}$	1,45	$1,72 \times 10^{-2}$	4,42
$^{239+240}\text{Pu}$	$5,80 \times 10^{-1}$	$3,54 \times 10^{-1}$	1,18	$3,13 \times 10^{-2}$	1,52
^{241}Am	$5,49 \times 10^{-1}$	$3,15 \times 10^{-1}$	1,19	$3,52 \times 10^{-2}$	1,83

Таблица 3 – Виды травянистых растений ПГРЭЗ с наиболее высокими ДК

Фитомасса	ДК, $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$		
	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
Надземная	<i>Carex vesicaria</i> ($9,74 \times 10^{-2}$), <i>Iris pseudacorus</i> ($1,84 \times 10^{-1}$), <i>Convallaria majalis</i> ($1,34 \times 10^{-1}$), <i>Pteridium aquilinum</i> ($1,60 \times 10^{-1}$)	<i>Iris pseudacorus</i> ($4,15 \times 10^{-2}$), <i>Convallaria majalis</i> ($4,22 \times 10^{-2}$), <i>Phragmites australis</i> ($3,11 \times 10^{-2}$), <i>Pteridium aquilinum</i> ($9,78 \times 10^{-2}$)	<i>Festuca ovina</i> ($2,59 \times 10^{-1}$), <i>Iris pseudacorus</i> ($3,29 \times 10^{-2}$), <i>Convallaria majalis</i> ($5,16 \times 10^{-2}$), <i>Pteridium aquilinum</i> ($2,62 \times 10^{-1}$)
Подземная	<i>Corynephorus canescens</i> (1,87), <i>Poa pratensis</i> (1,60), <i>Vicia cracca</i> (4,42)	<i>Corynephorus canescens</i> (1,43), <i>Poa pratensis</i> (1,44), <i>Festuca ovina</i> (1,52)	<i>Corynephorus canescens</i> (1,77), <i>Poa pratensis</i> (1,83), <i>Festuca ovina</i> (1,50)

Таблица 4 – Анализ ДК для кустарничков и кустарников, $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$

Изотоп	Медиана	Q ₁	Q ₃	Минимальное значение	Максимальное значение
Надземные органы					
²³⁸ Pu	$2,64 \times 10^{-2}$	$2,10 \times 10^{-2}$	$8,46 \times 10^{-2}$	$7,80 \times 10^{-3}$	$7,35 \times 10^{-1}$
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$1,42 \times 10^{-2}$	$5,51 \times 10^{-3}$	$3,19 \times 10^{-2}$	$2,47 \times 10^{-3}$	$7,95 \times 10^{-1}$
²⁴¹ Am	$3,37 \times 10^{-2}$	$1,49 \times 10^{-2}$	$5,98 \times 10^{-2}$	$1,91 \times 10^{-3}$	1,18
Подземные органы					
²³⁸ Pu	$4,30 \times 10^{-1}$	$2,04 \times 10^{-1}$	$6,15 \times 10^{-1}$	$1,56 \times 10^{-1}$	$8,06 \times 10^{-1}$
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$4,17 \times 10^{-1}$	$1,75 \times 10^{-1}$	$7,03 \times 10^{-1}$	$1,41 \times 10^{-1}$	$8,51 \times 10^{-1}$
²⁴¹ Am	$6,32 \times 10^{-1}$	$2,69 \times 10^{-1}$	$9,16 \times 10^{-1}$	$1,02 \times 10^{-1}$	3,98

надземных органов кустарничковых растений и кустарников и варьируют в пределах: ²³⁸Pu – от $7,80 \times 10^{-3}$ (надземные органы *Vaccinium myrtillus*) до $8,06 \times 10^{-1}$ (неодревесневшие корни *Corylus avellana*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – от $2,47 \times 10^{-3}$ (побеги *Frangula alnus*) до $8,51 \times 10^{-1}$ (неодревесневшие корни *Corylus avellana*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$, ²⁴¹Am – от $1,91 \times 10^{-3}$ (побеги *Frangula alnus*) до 3,98 (неодревесневшие корни *Corylus avellana*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$.

Конверсионные дозовые коэффициенты ТУЭ для надземных и подземных органов кустарничков и кустарников ниже первого квартиля имели *Frangula alnus* и *Vaccinium myrtillus*. Виды с наиболее высокими ДК представлены в таблице 5.

Высокие значения ДК для подземных органов характерны для древовидного кустарника *C. avellana*. Следует также отметить, что для этого вида ДК(²⁴¹Am) для неодревесневших корней отличается на по-

рядок величины от ДК(²⁴¹Am) для одревесневших корней ввиду большей дозы облучения ²⁴¹Am.

В таблице 6 представлен анализ конверсионных дозовых коэффициентов ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am для надземных и подземных органов древесных растений.

Значения конверсионных дозовых коэффициентов древесных растений варьируют в пределах: ²³⁸Pu – от $2,10 \times 10^{-2}$ (побеги *Betula pendula*) до 1,82 (неодревесневшие корни *B. pendula*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – от $1,97 \times 10^{-3}$ (камбий 1 секции ствола *Pinus sylvestris*) до 1,62 (неодревесневшие корни *B. pendula*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$, ²⁴¹Am – от $3,53 \times 10^{-3}$ (камбий ствола *B. pendula*) до 6,14 (неодревесневшие корни *B. pendula*) $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$.

За пределами межквартильного диапазона конверсионных дозовых коэффициентов ²³⁸Pu в надземных органах древесных растений оказались ДК для листьев, побе-

Таблица 5 – Виды кустарничков и кустарников ПГРЭЗ с наиболее высокими ДК

Фитомасса	ДК, $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$		
	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
Надземная	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> ($1,81 \times 10^{-1}$), <i>Corylus avellana</i> (листья – $7,35 \times 10^{-1}$)	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> ($3,73 \times 10^{-2}$), <i>Corylus avellana</i> (листья – $7,95 \times 10^{-1}$)	<i>Corylus avellana</i> (листья – 1,18, побеги – $7,68 \times 10^{-2}$)
Подземная	<i>Corylus avellana</i> (одревесневшие корни – $6,34 \times 10^{-1}$, неодревесневшие корни – $8,06 \times 10^{-1}$)	<i>Corylus avellana</i> (одревесневшие корни – $7,44 \times 10^{-1}$, неодревесневшие корни – $8,51 \times 10^{-1}$)	<i>Corylus avellana</i> (одревесневшие корни – $9,83 \times 10^{-1}$, неодревесневшие корни – 3,98)

Таблица 6 – Анализ ДК для древесных растений, $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$

Изотоп	Медиана	Q ₁	Q ₃	Минимальное значение	Максимальное значение
Надземные органы					
²³⁸ Pu	$5,09 \times 10^{-2}$	$3,28 \times 10^{-2}$	$7,72 \times 10^{-2}$	$2,10 \times 10^{-2}$	$2,19 \times 10^{-1}$
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$1,02 \times 10^{-2}$	$7,18 \times 10^{-3}$	$1,85 \times 10^{-2}$	$1,97 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-1}$
²⁴¹ Am	$1,30 \times 10^{-2}$	$7,94 \times 10^{-3}$	$2,33 \times 10^{-2}$	$3,53 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-1}$
Подземные органы					
²³⁸ Pu	$6,83 \times 10^{-1}$	$3,35 \times 10^{-1}$	1,25	$7,53 \times 10^{-2}$	1,82
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	$6,65 \times 10^{-1}$	$3,36 \times 10^{-1}$	1,22	$9,00 \times 10^{-2}$	1,62
²⁴¹ Am	1,35	$5,06 \times 10^{-1}$	2,30	$5,89 \times 10^{-2}$	6,14

гов, камбия *B. pendula*, камбия, коры и побегов *Alnus glutinosa* и *P. sylvestris*, пыльцы и хвои *P. sylvestris*, коры *Quercus robur*; в подземных органах – дозовые коэффициенты для одревесневших и недревесневших корней *B. pendula* и *A. glutinosa*, недревесневших корней *Q. robur*. Виды с наиболее высокими ДК представлены в таблице 7.

Из таблицы 7 можно отметить, как и для травянистых растений ДК древесных растений для подземных органов отличались на порядок величины от ДК для надземных органов.

Заключение

Таким образом, рассчитаны конверсионные дозовые коэффициенты ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am для надземных и подземных органов травянистых, кустарничковых растений, кустарников и древесных растений. Для ²³⁸Pu рассчитанные конверсионные дозовые коэффициен-

ты находятся в пределах $7,80 \times 10^{-3} - 4,42 (\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu $1,97 \times 10^{-3} - 1,62 (\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$. Максимальные значения конверсионных дозовых коэффициентов характерны для ²⁴¹Am (от $1,91 \times 10^{-3}$ до 6,14 $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$). Полученные ДК можно применять для оценки доз облучения от ТУЭ на растения, произрастающие на территории ПГРЭЗ. Виды семейств Fabaceae, Poaceae и Betulaceae имеют сравнительно высокие конверсионные дозовые коэффициенты, поэтому должны являться объектом мониторинга хронического воздействия ионизирующего излучения на популяции растений ПГРЭЗ.

Библиографический список

1. Конопля, Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларуси / Е.Ф. Конопля, В.П. Кудряшов, В.П. Миронов. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. – 128 с.

Таблица 7 – Виды древесных растений ПГРЭЗ с наиболее высокими ДК

Фитомасса	ДК, $(\text{мкЗв} \times \text{сут}^{-1}) \times (\text{кБк} \times \text{м}^{-2})^{-1}$		
	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
Надземная	<i>Q. robur</i> (кора – $1,35 \times 10^{-1}$), <i>P. sylvestris</i> (хвоя – $1,49 \times 10^{-1}$, кора – $2,19 \times 10^{-1}$, камбий – $7,78 \times 10^{-2}$), <i>A. glutinosa</i> (побеги – $1,08 \times 10^{-1}$, кора – $9,31 \times 10^{-2}$)	<i>B. pendula</i> (камбий – $3,19 \times 10^{-2}$), <i>Q. robur</i> (побеги – $2,21 \times 10^{-2}$, кора – $1,02 \times 10^{-1}$, камбий – $2,06 \times 10^{-2}$), <i>P. sylvestris</i> (пыльца – $1,93 \times 10^{-2}$), <i>A. glutinosa</i> (побеги – $4,52 \times 10^{-2}$, кора – $6,24 \times 10^{-2}$)	<i>B. pendula</i> (лист – $5,17 \times 10^{-2}$), <i>Q. robur</i> (побег – $3,52 \times 10^{-2}$), <i>P. sylvestris</i> (побег 1-3 лет – $2,38 \times 10^{-2}$, пыльца – $5,70 \times 10^{-2}$), <i>A. glutinosa</i> (побег – $4,72 \times 10^{-2}$, кора – $2,02 \times 10^{-1}$)
Подземная	Недревесневшие корни <i>B. pendula</i> (1,82), <i>Q. robur</i> (1,53), <i>A. glutinosa</i> (1,35)	Недревесневшие корни <i>B. pendula</i> (1,62), <i>Q. robur</i> (1,32), <i>A. glutinosa</i> (1,58)	Недревесневшие корни <i>B. pendula</i> (6,14), <i>Q. robur</i> (2,40), <i>P. sylvestris</i> (2,41)

2. 30 лет Чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий: национальный доклад Республики Беларусь / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Мн.: Институт радиологии, 2016. – 115 с.
3. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС) / В.И. Парфенов [и др.]; под общ. ред. В.И. Парфенова, Б.И. Якушева. – Мн.: Наука і тэхніка, 1995. – 582 с.
4. Чунихин, Л.А. Оценка радиационной опасности трансурановых радионуклидов в отдаленный период чернобыльской аварии / Л.А. Чунихин, С.А. Тагай // Чернобыльские чтения-2008: материалы международной научно-практической конференции. – Гомель: КИПУП «Сож», 2008. – С. 329-332.
5. The ERICA Tool / J. Brown [et al.] // J. of Environ. of Radioactivity. – 2008. Vol. 99. – P. 1371-1383.
6. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб – Введ. 01.07.84. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 8 с.
7. Методика определения активности стронция-90 и трансурановых элементов в биологических объектах: МВИ.МН 1892-2003. – Введ. 2003-04-30. – Минск: ИРБ НАН Б, 2003. – 17 с.
8. Моисеев, А.А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А.А. Моисеев, В.И. Иванов. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 292 с.
9. Choosing an alpha radiation weighting factor for doses to non-human biota / B. Chambers, R.V. Osborne, A.L. Garva // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – №87. – P. 1-14.

R.K. Spirov, A.N. Nikitin

CONVERSION DOSE COEFFICIENTS OF TRANSURANIUM ELEMENTS FOR PLANTS IN THE EXCLUSION ZONE OF THE CHERNOBYL NPP

The conversion dose factors of transuranium elements (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am) are presented for aboveground and belowground organs of herbaceous, shrubby plants, shrubs and tree plants growing in the conditions of chronic exposure to ionizing radiation on the territory of Polesie State Radiation-Ecological Reserve. It is shown that the values of these coefficients may differ for the same species from different test plots, it is related with the difference in physicochemical and agrochemical soil parameters affecting the bioavailability of transuranium elements for plants. The obtained conversion dose factors can be used to quickly assess the dose of TUE for plants growing on the territory of radioactive contamination.

Key words: *transuranium elements, exposure dose, radiation safety, radiation protection of biota, dose factors*

15.03.2018