

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(21)

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 12.04.19
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 110 экз.
Усл. печ. л. 20,5. Уч.-изд. л. 11,8.
Зак. 20.

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. Велякин (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. Лызикив (д.м.н., профессор), А.В. Макавич (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.), 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

№ 1(21)

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

Редакторская колонка

- А.В. Рожко, Е.Л. Богдан**
 ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» в системе минимизации медицинских последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС 6

Обзоры и проблемные статьи

- Е.М. Бредихин, А.В. Величко**
 Субклинический синдром Кушинга. Современные подходы к диагностике и лечению 11
- Г.Н. Фильченков, Е.Г. Попов, И.А. Чешик, Е.Ф. Конопля**
 Физиология стероид-транспортных белков крови в процессе старения (обзор) 21

Медико-биологические проблемы

- О.Н. Антипенко**
 Эффективность нового ферроцианид-содержащего сорбента 30
- К.Н. Буздалькин**
 Метод оперативной оценки доз облучения персонала, ожидаемых в результате ингаляции радионуклидов при тушении пожаров 36
- Н.Г. Власова**
 Радиационные аварии 43
- Е.А. Дрозд, Н.Г. Власова**
 Метод индивидуализации дозы внутреннего облучения населения, проживающего на загрязненной территории, при недостатке или отсутствии данных СИЧ-измерений 51
- Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская**
 Оценка риска для здоровья населения субъектов Российской Федерации при равномерном пожизненном облучении радоном 56

Editorial column

- A.V. Rozko, E.L. Bogdan**
 SI «The republican research center for radiation medicine and human ecology» in a system of minimizing the consequences of the chernobyl accident

Reviews and problem articles

- E.M. Bredihin, A.V. Velichko**
 Subclinical Cushing syndrome. Modern approaches to diagnosis and treatment
- G.N. Filchenkov, E.H. Popoff, I.A. Cheshyk, E.F. Konoplya**
 Physiology of steroid-specific transport proteins during aging (review)

Medical-biological problems

- O.N. Antipenko**
 The efficacy of the new ferrocyanide-containing sorbent
- K.N. Bouzdalkin**
 A method for rapid assessment of radiation exposure of personnel is expected as a result of the inhalation of radionuclides in case of fighting fires
- N.G. Vlasova**
 The radiation accidents
- E.A. Drozd, N.G. Vlasova**
 A method of internal dose individualization to population living on a contaminated territory in the absence of data from WB-measurements
- D.V. Kononenko, T.A. Kormanovskaya**
 Risk assessment for the population of the regions of the Russian Federation from constant lifelong exposure to radon

- Т.А. Кормановская, Н.А. Королева, Е.С. Кокоулина, Т.А. Балабина**
Природное облучение работников неураниевых отраслей промышленности в Российской Федерации 62
- Е.Ф. Мицура, Л.И. Волкова**
Значение гематологических показателей в диагностике наследственного сфероцитоза у детей первого года жизни 68
- И.В. Орадовская, Т.Т. Радзивил**
Мониторинг иммунного статуса персонала Сибирского химического комбината при наличии хронических заболеваний. Зависимость от возраста, сроков контакта с факторами профвредности и дозы облучения 73
- И. М. Хмара, Н.А. Васильева, Н.С. Корытко**
Композиция тела у женщин с нормальной и избыточной массой тела в различные периоды репродуктивного здоровья 86

Клиническая медицина

- В.В. Зарецкий, С.А. Игумнов, Н.В. Коренский, Ю.В. Блыш**
Био-психо-социальные особенности отклоняющегося поведения у подростков, характеризующихся сочетанным употреблением психоактивных веществ 98
- М.В. Белевцев, М.Г. Шитикова, И.Е. Гурьянова, С.О. Шарапова, Ю.С. Жаранкова, А.С. Купчинская, С.Н. Алешкевич, А.П. Саливончик, И.С. Сакович, Е.А. Полякова, Т.А. Углова, О.В. Алейникова**
Иммунологические и генетические особенности общей варибельной иммунной недостаточности (ОВИН) у детей и взрослых в Республике Беларусь 104
- Е.В. Власова-Розанская**
Медицинская реабилитация пациентов с системной красной волчанкой 112
- Ж.М. Козич, В.Н. Мартинков, Ж.Н. Пугачева, А.А. Ковалевич, Л.А. Смирнова**
Иммунофенотипические маркеры CD56, CD117, CD33, CD20 и их роль при моноклональной гаммапатии неопределенного генеза и множественной миеломе у пациентов гомельского региона 117

Clinical medicine

- V.V. Zaretsky, S.A. Igumnov, N.V. Karenski, Y.V. Blysh**
The bio-psycho-social features of the adolescents with deviant behavior who using combined psychoactive substances
- M. Belevtsev, M. Shytikova, I. Gurianova, S. Sharapova, J. Zharankova, A. Kupchinskaja, S. Aleshkevich, A. Salivonchik, I. Sakovich, E. Poliarova, T. Uglova, O. Aleinikova**
Immunological and genetic features of common variable immune deficiency (CVID) in children and adults in the Republic of Belarus
- E.V. Vlasova-Rozanskaya**
Medical rehabilitation of patients with systemic lupus erthematosus
- Z.M. Kozich, V.N. Martinkov, Z.N. Pugacheva, A.A. Kavalevich, L.A. Smirnova**
Significance of the expression of tumor antigens CD56, CD117, CD33, CD20 as prognostic factors in monoclonal gammopathy of undetermined significance and multiple myeloma

- С.А. Лихачев, Н.Н. Усова, А.Н. Цуканов, Д.А. Голубова, А.А. Мельников**
Объективизация хронического болевого синдрома у пациентов с сахарным диабетом 124
- Ya. Navmenova, I. Savasteeva, M. Rusalenko, E. Mahlina, N. Holupko, T. Gavrylenko**
Assessment of possible risk factors for the development of anxiety disorders in patients with diabetes mellitus type I 131
- Е.В. Родина, Н.И. Корженевская, Д.П. Саливончик, Д.И. Гавриленко**
Роль предикторов электрической нестабильности миокарда предсердий в ранней диагностике пароксизмальной фибрилляции предсердий и их связь со структурно-функциональными изменениями сердца 138
- А.Е. Силин, Д.К. Новик, В.Н. Мартинков, И.Н. Козарь, В.В. Кошкевич, А.В. Воропаева, А.А. Силина, И.Б. Тропашко, С.М. Мартыненко**
Молекулярно-генетическая и клинико-лабораторная характеристики пациентов с идиопатическим миелофиброзом 144
- С.А. Ходулева, И.П. Ромашевская, А.Н. Демиденко, Е.Ф. Мицура**
Клиническая манифестация иммунной тромбоцитопении у детей 150

Обмен опытом**Experience exchange**

- С.А. Иванов, В.А. Кривенчук, Д.Д. Редько, И.Д. Шляга, В.С. Волчек**
Реконструкция крыла носа носогубным лоскутом и модифицированным пазл-лоскутом: сравнительная характеристика косметических результатов 156
- S.A. Ivanou, V.A. Krivenchuk, D.D. Radzko, I.D. Shlyaga, V.S. Volchek**
Nasal ala reconstruction with nasolabial flap and with modified «puzzle» flap: comparative study of cosmetic outcomes

МЕТОД ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА, ОЖИДАЕМЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНГАЛЯЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», г. Хойники, Беларусь

Метод позволяет консервативно оценивать ожидаемые ингаляционные дозы облучения персонала в случае тушения пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, а также обеспечить их учёт при проведении индивидуального дозиметрического контроля. Плотность загрязнения территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Pu оценивается по плотности загрязнения ^{241}Am . В качестве примера применения метода приведен расчёт индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения персонала, ожидаемых в результате ингаляции радионуклидов при тушении пожаров в 2018 году в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на территории Брагинского участка Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Ключевые слова: радионуклид, ингаляция, персонал, доза облучения

Введение

В отсутствие сельскохозяйственного использования земель в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС интенсивно развиваются виды местной флоры. Сосняки поражаются болезнями и насекомыми. В поставарийный период сформировался континуум с вертикальной структурой расположения горючих материалов. Леса становятся высоко пожароопасными. В среднем в белорусском секторе зоны отчуждения происходит 5 пожаров в год. Глобальное изменение климата не даёт оснований надеяться на снижение количества и интенсивности пожаров.

При пожарах в результате подъёма радионуклидов в зону дыхания происходит формирование доз внутреннего облучения человека. На участках зоны отчуждения с высоким уровнем загрязнения трансурановыми элементами и ^{90}Sr вклад ингаляционного поступления радионуклидов в дозу облучения персонала может превышать все остальные пути облучения при некоторых видах работ.

Любые мероприятия, проводимые на загрязненной радионуклидами территории, должны осуществляться с обязательным

индивидуальным дозиметрическим контролем участников [1-2]. На текущий момент контролируются только дозы внешнего облучения персонала и содержание в организме ^{137}Cs , а контроль облучения персонала в результате поступления ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{90}Sr и ^{137}Cs через органы дыхания не проводится в связи с отсутствием методического и технического обеспечения не только в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЭЗ), но и в других организациях, осуществляющих деятельность в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС [3-6].

Проблема индивидуального дозиметрического контроля заключается в том, что для оценки объёмной активности воздуха, на основе которой рассчитываются ожидаемые дозы внутреннего облучения за счёт ингаляционного поступления радионуклидов, необходимо в течение нескольких дней проводить радиохимическое выделение трансурановых элементов из отобранных проб аэрозолей, а также необходимо специальное оборудование для отбора проб загрязнённого воздуха [5]. Такая «оперативность», например, во время по-

жара, не позволяет нормировать продолжительность смены, принимать адекватные решения по применению индивидуальных средств защиты органов дыхания и других защитных мер.

Цель – разработать метод оперативной оценки доз облучения персонала, ожидаемых в результате ингаляции радионуклидов при пожарах в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.

Материал и методы исследований

При горении и тлении горючих материалов происходит формирование мелкодисперсного радиоактивного аэрозоля за счет образования золы. Также имеет место высокотемпературная утечка радионуклидов из лесной подстилки и слоя войлока из не минерализовавшихся трав с их конденсацией на различных носителях.

Объектами исследований являются частицы аэрозолей с содержанием ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am , образующиеся в результате высокотемпературной возгонки и горения лесных материалов. При указанных процессах в воздух поступают частицы, в состав которых входят или на которых конденсируются радионуклиды. Радиоактивные аэрозоли с частицами размером 0,1-10 мкм переносятся в атмосфере.

Предметом исследований являются дозы облучения персонала в результате ингаляционного поступления ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Pu во время тушения пожаров. Крупные частицы радиоактивных аэрозолей размером более 1 мкм осаждаются в трахее, бронхах и быстро выводятся из организма, а субмикронные проникают в альвеолы легких и длительное время находятся в организме [7, 8].

Основная масса трансурановых элементов выпала на территорию Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в матрице топливных частиц (в топливном компоненте радиоактивных выпадений), которые образовались в результате диспергирования ядерного топлива четвертого энергоблока

Чернобыльской АЭС во время взрыва и после окисления его в воздухе [8].

Соотношение $^{238}\text{Pu} : ^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} : ^{241}\text{Pu}$ в суммарном выбросе аварийного блока ЧАЭС с 26 апреля по 5 мая 1986 года можно оценить как 1,1 : 1,0 : 1,5 : 200 [9]. На 2016 год соотношение между активностями радионуклидов в топливном компоненте $^{238}\text{Pu} : ^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} : ^{241}\text{Am}$ составляло 1,2 : 1,0 : 1,5 : 4,9 [7]. Периоды полураспада указанных радионуклидов приведены в таблице 1.

Плотность загрязнения территории является одним из основных факторов, определяющих ожидаемые дозы облучения персонала от поступления радионуклидов ингаляционным путём при тушении пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. Приведенные сведения позволяют на основании данных о плотности загрязнения территории одним радионуклидом топливного компонента чернобыльских радиоактивных выпадений оценивать плотность загрязнения другими трансурановыми элементами в этой же точке на любой момент времени.

Уровни загрязнения объектов окружающей среды трансурановыми элементами изменяются с течением времени: изотопами плутония падают, а ^{241}Am растут в связи с β -распадом ^{241}Pu . Соотношения между активностями трансурановых элементов в топливных радиоактивных выпадениях будут соответствовать отношениям их удельных активностей в облученном ядерном топливе на конкретный момент времени.

Полученные данные обрабатывались с использованием стандартных статистических методов и компьютерного программного обеспечения (MS Excel).

Таблица 1 – Периоды полураспада исследуемых радионуклидов

Радионуклид	Период полураспада
^{238}Pu	87,7 года
^{239}Pu	24100 лет
^{240}Pu	6540 лет
^{241}Pu	14,4 года
^{241}Am	432 года

Результаты исследования

Разработан метод оценки ожидаемых доз внутреннего облучения участников пожаротушения за счёт ингаляционного поступления радионуклидов, который не требует применения дорогостоящих ионообменных смол и длительного радиохимического выделения и осаждения трансурановых элементов в лабораторных условиях, α -спектрометрического окончания.

Плотность загрязнения территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Pu (σ_i) с достаточной точностью может быть оценена по плотности загрязнения ^{241}Am , которая оперативно оценивается путём измерения удельной активности проб почвы (A_i) «аппаратным методом» с использованием γ -спектрометра с полупроводниковым детектором на основе высокочистого германия. Продолжительность измерения проб почвы, отобранных на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, как правило, не превышает 4 часов (при статистической погрешности оценки площади пика полного поглощения гамма-линии ^{241}Am менее 15%).

С учётом периодов полураспада соотношение между плотностями загрязнения территории заповедника трансурановыми элементами на 2019 год оценивается приблизительно как

$$^{241}\text{Am} : ^{238+239+240}\text{Pu} : ^{241}\text{Pu} = 1,0 : 0,75 : 10.$$

Распределение ^{90}Sr по территории белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС определялось топливным компонентом, однако, вклад в этот процесс конденсационного компонента чернобыльских радиоактивных выпадений был также значителен. В отличие от указанных радионуклидов утечка летучего высокоподвижного ^{137}Cs происходила, в основном, при высокотемпературном отжиге ядерного топлива с последующей конденсацией на различных носителях. Эти процессы привели к иному распределению ^{137}Cs по территории радиоактивного загрязнения.

Удельное содержание в пробах почвы ^{90}Sr , а также ^{137}Cs , определяется с использованием β - γ -спектрометра с органическим и сцинтилляционным детекторами соответственно. Таким образом, исключаются трудоёмкие процедуры подготовки проб к испытаниям радиохимическими методами.

Плотность загрязнения территории i -ым радионуклидом σ_i , Бк·м², рассчитывается по формуле:

$$\sigma_i = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot n \cdot d^2} \cdot A_i, \quad (1)$$

где m – полная масса исходной смешанной пробы почвы естественной влажности, кг; n – количество уколов пробоотборником; d – диаметр пробоотборника, м; A_i – удельная активность i -го радионуклида в высушенной пробе, Бк·кг⁻¹.

Для оперативной оценки ожидаемых доз облучения в случае пожаров и в иных чрезвычайных ситуациях могут также использоваться карты загрязнения территории, при их наличии. В этом случае отбор проб и измерения не производятся, а используется приближённое значение, указанное на карте. Погрешностью оценки плотности загрязнения можно пренебречь, так как неопределённость коэффициентов подъёма радионуклидов, а также дозовых коэффициентов, используемых ниже для оценки ожидаемых доз облучения, на порядок выше.

Объёмная активность i -ого радионуклида ρ_i , Бк·м⁻³, в зоне дыхания участников пожаротушения оценивается по формуле

$$\rho_i = k_i \cdot \sigma_i, \quad (2)$$

где k_i – коэффициенты подъёма (ресуспензии) радионуклидов, м⁻¹.

Для случая верховых лесных пожаров коэффициенты подъёма радионуклидов определены путём отбора проб аэрозолей в 2015 году во время масштабного лесного пожара на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и обработки данных измере-

ний объёмной активности воздуха, а также отбора проб почвы и уточнения плотности загрязнения зоны пожара в 2017 году. В таблице 2 представлены коэффициенты подъёма для точки, расположенной в 300 м от кромки огня в зоне дыхания участников пожаротушения 14 июня 2015 года [3, 4, 5].

В случае иных пожаров, когда участники пожаротушения имеют возможность находиться непосредственно у кромки огня, можно применять консервативные значения коэффициентов подъёма, предложенные В.А. Кашпаровым [7]. В таблице 3 представлены консервативные значения коэффициентов подъёма, полученные по результатам измерений в ходе контролируемых пожаров в украинском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Коэффициенты ресуспензии зависят от расстояния до источника радиоактивных аэрозолей, силы и направления ветра, категории устойчивости атмосферы, ландшафта, типа почвы и ряда других параметров, многие из которых сложно оперативно установить во время процесса ингаляции радионуклидов реципиентом. Поэтому зарубежные эксперты используют и рекомендуют консервативные оценки коэффициентов подъёма.

Индивидуальные эффективные дозы облучения персонала E_{ing} (Зв), ожидаемые в результате ингаляционного поступления радионуклидов при тушении пожара в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, оценивают с использованием выражения:

$$E_{ing} = \sum_{i=1}^5 (e(g)_i \cdot \rho_i) \cdot v \cdot t, \quad (3)$$

где $e(g)_i$ – дозовый коэффициент, равный ожидаемой эффективной дозе, обусловленной ингаляционным поступлением 1 Бк i -го радионуклида в организм в зависимости от возраста человека, с учетом процессов метаболизма радионуклида в организме, класса растворимости и размера частиц в радиоактивном аэрозоле [1, 2], Зв·Бк-1; v – интенсивность дыхания [1, 2], м³·ч-1; t – продолжительность вдыхания загрязнённого воздуха, ч.

Дозовые коэффициенты для ²⁴¹Am и изотопов Pu приведены в рекомендациях Международного агентства по атомной энергии [2], для ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr – в национальных гигиенических нормативах [1]. Дозовые коэффициенты для персонала при ингаляционном поступлении радионуклидов представлены в таблице 4.

Пример применения предлагаемого метода в случае реальных пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС приведен ниже.

По характеру сгоревших лесных горючих материалов, полноте их сгорания и скорости распространения фронта, все пожары 2018 года на территории Брагинского участка Полесского государственного радиационно-экологического заповедника отнесены к виду низовых лесных пожаров. В таблице 5 представлены значения плотности загрязнения территории в зоне пожаров 2018 года на Брагинском участке По-

Таблица 2 – Оценка коэффициентов подъёма по объёмной активности радионуклидов в точке, расположенной в 300 м от кромки огня в зоне дыхания участников пожаротушения 14 июня 2015 года

Радионуклид	Коэффициент подъёма (ресуспензии), м ⁻¹
Изотопы Pu	1,3·10 ⁻⁸
²⁴¹ Am	2,3·10 ⁻⁸
⁹⁰ Sr	5,7·10 ⁻⁷
¹³⁷ Cs	2,7·10 ⁻⁸

Таблица 3 – Консервативные значения коэффициентов подъёма, полученные по результатам измерений в ходе контролируемых пожаров в украинском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС [7]

Радионуклид	Коэффициент подъёма (ресуспензии), м ⁻¹
²⁴¹ Am и изотопы Pu	1,0·10 ⁻⁷
¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr	1,0·10 ⁻⁶

Таблица 4 – Дозовые коэффициенты для персонала при ингаляционном поступлении радионуклидов $e(g)_i$, [1, 2]

Радионуклид	Дозовый коэффициент
$^{238+239+240}\text{Pu}$	$4,70 \cdot 10^{-5}$
^{241}Pu	$8,5 \cdot 10^{-7}$
^{241}Am	$3,9 \cdot 10^{-5}$
^{90}Sr	$1,5 \cdot 10^{-7}$
^{137}Cs	$6,7 \cdot 10^{-9}$

лесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Поэтому в 2018 году мониторинг доз облучения участников пожаротушения, ожидаемых в результате поступления ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am через органы дыхания, проводился с использованием коэффициентов подъёма радионуклидов, приведенных в таблице 3.

С использованием выражения (2) оценены максимально возможные концентрации радионуклидов в зоне дыхания при тушении 4 пожаров в 2018 году на территории Брагинского участка заповедника. Объёмные активности ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am приведены в таблице 6.

Результаты мониторинга ожидаемых ингаляционных доз облучения персона-

ла, участвовавшего в тушении пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС в 2018 году, приведены в таблице 7. Значения доз получены с использованием выражения (3). Оценка ожидаемых доз внутреннего облучения участников пожаротушения выполнена консервативно: принято, что на всех пожарах присутствовали одни и те же работники. Ликвидация 4-х пожаров на территории Брагинского участка заповедника заняла 18 часов.

На рисунке представлены численные значения доз внутреннего облучения персонала от каждого радионуклида и структура дозы внутреннего облучения.

Как видно из рисунка, вклад в дозу внутреннего облучения персонала от ингаляционного поступления трансураниевых элементов составил 62% при пожарах на территории заповедника в 2018 году

В 2018 году индивидуальная эффективная доза внутреннего облучения персонала, ожидаемая в результате ингаляционного поступления радионуклидов при тушении пожаров, не превысила 0,1 мЗв. 77% дозы облучения обусловлены тушением пожаров в Крюковском и Колыбанском лестничествах, наиболее загрязнённых на территории заповедника.

Таблица 5 – Плотность загрязнения территории в зоне пожаров 2018 года (Брагинский участок ПГРЭС)

Лесничество	Квартал	Выдел	Плотность загрязнения, Ки·км ⁻²				
			$^{238+239+240}\text{Pu}$	^{241}Pu	^{241}Am	^{90}Sr	^{137}Cs
Колыбанское	37	25	0,06	0,8	0,08	1,4	40
Верхнеслободское	11	16	0,075	1,0	0,1	3,2	35
Колыбанское	5	41	0,11	1,5	0,15	1,9	32
Колыбанское	12	51	0,20	2,7	0,27	1,6	190
Крюковское	2	29					
	1	42					

Таблица 6 – Консервативные оценки объёмной активности радионуклидов в зоне дыхания участников пожаротушения в 2018 году

№	Объёмная активность, мБк·м ⁻³				
	$^{238+239+240}\text{Pu}$	^{241}Pu	^{241}Am	^{90}Sr	^{137}Cs
1	0,22	3,0	0,30	52	1500
2	0,28	3,7	0,37	120	1300
3	0,42	5,6	0,56	70	1200
4	0,75	10	1,0	59	7000

Таблица 7 – Ожидаемые дозы облучения участников пожаротушения, обусловленные ингаляционным поступлением радионуклидов в 2018 году (при постоянном составе участников и без использования средств индивидуальной защиты органов дыхания)

№	Продолжительность пожара, мин	Интенсивность дыхания, мЗ·ч ⁻¹	Ожидаемые дозы облучения, мкЗв					Σ
			²³⁸⁺²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	
1	240	4,2	0,18	0,042	0,19	0,13	0,17	0,71
2	350	4,2	0,32	0,077	0,35	0,44	0,21	1,4
3	145	4,2	0,20	0,048	0,22	0,11	0,08	0,65
4	330	4,2	0,81	0,20	0,90	0,21	1,1	3,2

Заключение

Предложенный метод позволяет консервативно оценивать ожидаемые ингаляционные дозы облучения персонала в случае тушения пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, а также обеспечить их учёт при проведении индивидуального дозиметрического контроля. Персонал будет информирован об ожидаемых уровнях облучения и радиационных рисках, как того требует законодательство и международные рекомендации. Результаты исследований позволяют снизить психологическое воздействие на персонал, обусловленное неадекватным восприятием опасности ингаляционного поступления радионуклидов в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС.

Проведенные исследования выявили недостаток данных и необходимость бо-

лее глубоких исследований подъёма топливных частиц во время пожаров с учётом почвенных, климатических, гидрологических и ландшафтных условий, характерных для Белорусского Полесья, особенно на торфяниках. В почвах на территории заповедника сохранились нерастворенные высокоактивные частицы облученного ядерного топлива микронного размера. Во время пожаров эти «горячие» частицы могут подниматься с восходящими конвективными потоками воздуха и достигать зоны дыхания персонала, представлять опасность при ингаляционном поступлении для участников пожаротушения.

Требуют оценки не только объёмная активность радионуклидов в воздухе, но и растворимость, дисперсный состав частиц аэрозолей (распределение активности частиц по их размерам). Эти факторы оказывают существенное влияние на поступление и метаболизм радионуклидов в организме, радиационные риски персонала.

В дальнейшем путём отбора проб аэрозолей и почвы в районах пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС предполагается уточнить данные о подъёме ²⁴¹Am, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в зону дыхания персонала.

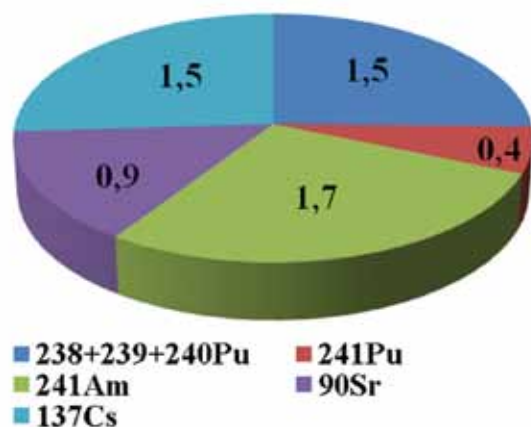


Рисунок – Вклад в дозу внутреннего облучения персонала от ингаляционного поступления радионуклидов в 2018 году при тушении 4х пожаров на Брагинском участке ПГРЭЗ в мкЗв

Библиографический список

1. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиен. норматив; утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г. № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – 2/26850.

2. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements / Interim edition. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011. 303 p.

3. Буздалкин. К.Н. Облучение персонала в результате ингаляционного поступления радионуклидов при пожарах в зонах отчуждения и отселения Чернобыльской АЭС / К.Н. Буздалкин // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2018. – № 1(19). – С. 25-32.

4. Буздалкин. К.Н. Оценка воздействия на окружающую среду пожаров в зонах отчуждения и отселения / К.Н. Буздалкин // Материалы Международной научно-практической конференции «Радиоэкологические и радиобиологические последствия Чернобыльской катастрофы» (г. Хойники, 11-12 октября 2017 г.). / Под общ. ред. доктора мед. наук, профессора И.Н. Семенени. – Хойники: ГПНИУ «ПГРЭЗ», 2017. – С. 21-27.

5. Буздалкин. К.Н. Мониторинг ожидаемых доз облучения спасателей в случаях пожаров на территории радиоактивного

загрязнения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова, А.Б. Кухтевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – № 10(2). – С 61-64.

6. Бортновский, В.Н. Гигиеническая оценка ингаляционного поступления радионуклидов в результате пожаров в Гомельской области / В.Н. Бортновский, А.М. Буздалкина, К.Н. Буздалкин // Проблемы здоровья и экологии – 2016. – Т. 1(47). – С. 75-78.

7. Руководство для участников тушения лесных пожаров в белорусском и украинском секторах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / ОБСЕ. – Фрайбург – Гомель – Киев, 2016. – 70 с.

8. Territory contamination with the radionuclides representing the fuel component of Chernobyl fallout / V.A. Kashparov [et al.] // The Science of The Total Environment. – 2003. – Vol. 317, Issues 1-3. – P. 105-119.

9. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и её последствиях, подготовленная для МАГАТЭ / В.А. Легасов [и др.] // Атомная энергия. – 1986. – Т. 61, Вып. 5. – С. 301-320.

K.N. Bouzdalkin

A METHOD FOR RAPID ASSESSMENT OF RADIATION EXPOSURE OF PERSONNEL IS EXPECTED AS A RESULT OF THE INHALATION OF RADIONUCLIDES IN CASE OF FIGHTING FIRES

The method allows to conservatively estimate the expected inhalation exposure doses of the personnel in case of fighting fires in the exclusion zone of the Chernobyl NPP, as well as to ensure that they are considered when conducting the individual monitoring. The ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu and ^{241}Pu density of contamination of the exclusion zone of the Chernobyl NPP is measured by the density of contamination of ^{241}Am . As an example of the method application, the calculations of individual effective doses of internal exposure of personnel expected as a result of inhalation of radionuclides during fire extinguishing in 2018 in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant in the territory of the Bragin section of the Polesye state radiation-ecological reserve are presented.

Key words: radiation exposure, radionuclide, inhalation, personnel

Поступила 29.01.2019