

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(19)

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 10.04.18
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 100 экз.
Усл. печ. л. 23,25. Уч.-изд. л. 12,1.
Зак. 42/2.

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), 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. 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. 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.), 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 (зам. премьер-министра Республика Беларусь, 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 Министерства здравоохранения), 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., Минск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.Л. Пиневиц (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

№ 1(19)

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**Reviews and problem articles****Н.Г. Власова**

Гигиеническая регламентация облучения человека

6

N.G. Vlasova

Hygienic regulation of human radiation

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

Паразитирование токсоплазм и его некоторые медико-биологические аспекты (обзор литературы, часть 1)

14

E.S. Pashinskaya, V.V. Pabiarzhyn, V.M. SemenovThe parasite *Toxoplasma gondii* and some medical and biological aspects (literature review, part 1)**Медико-биологические проблемы****Medical-biological problems****К.Н. Буздалькин**

Облучение персонала в результате ингаляционного поступления радионуклидов при пожарах в зонах отчуждения и отселения Чернобыльской АЭС

25

K.N. Bouzdalkin

Irradiation of the personnel as a result of radionuclides inhalation during fires in Chernobyl exclusion zone

Л.А. Горбач

Риск туберкулеза у детей и подростков с различными заболеваниями в пострадавших от чернобыльской катастрофы районах

33

L.A. Gorbach

The risk of tuberculosis in children and adolescents with various diseases in affected by the Chernobyl disaster areas

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

Результаты радиационного контроля пищевой продукции на загрязненных территориях российской федерации в отдаленный период после аварии на ЧАЭС

40

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

The results of radiation control of the foodstuffs from contaminated territories of Russian Federation in the remote period after the accident on Chernobyl NPP

Т.А. Кормановская

Контроль и учет доз природного облучения населения Российской Федерации

48

T.A. Kormanovskaja

Control and accounting of the natural exposure doses population Russian Federation

С. Д. Кулеш

Сравнительный анализ эпидемиологии внутримозгового кровоизлияния в Республике Беларусь и других странах

55

S. D. Kulesh

Comparative analysis of the epidemiology of intracerebral hemorrhage in the Republic of Belarus and other countries

С.Н. Соколовская, Л.Г. Карпишевич, Н.П. Минько, В.А. Пономарев, В.А. Игнатенко, Б.К. Кузнецов

Изотопы радона и их использование при водолечении в санатории «Радон»

60

S.N. Sakalouskaya, L.H. Karpishevich, N.P. Minko, V.A. Panamareu, V.A. Ignatenko, B.K. Kuznecov

Radon isotopes and their application in hydrotherapy in health center «Radon»

- А.С. Соловьев, М.А. Пимкин, Т.А. Анащенко
Влияние делеции субдомена инозин-5'-монофосфат дегидрогеназы и точечных мутаций гена фермента, ассоциированных с пигментным ретинитом, на её активность и нуклеотидные пулы *Escherichia coli* 66
- Л.А. Чунихин, А.Л. Чеховский, Д.Н. Дроздов
Обоснование возможности определения критических зон радоноопасности по косвенным показателям радона 72
- Л.Н. Эвентова, А.Н. Матарас, Ю.В. Висенберг, Н.Г. Власова
Динамика соотношения доз внешнего и внутреннего облучения жителей населенных пунктов, находящихся на территориях с различной плотностью радиоактивного загрязнения 80
- Ю.И. Ярец, И.А. Славников, З.А. Дундаров, Н.Н. Шibaева
Информативность цитологического и гистологического методов исследования для оценки состояния воспалительной и пролиферативной фаз репарации гранулирующей раны 86

Клиническая медицина

Clinical medicine

- Р.В. Авдеев, А.С. Александров, Н.А. Бакунина, Д.А. Белая, А.Ю. Брежнев, Н.В. Волкова, Л.М. Габдрахманов, И.Р. Газизова, А.Б. Галимова, В.В. Гарькавенко, А.М. Гетманова, В.В. Городничий, А.А. Гусаревич, Д.А. Дорофеев, Ю.Ф. Дюкарева, П.Ч. Завадский, А.Б. Захидов, О.Г. Зверева, У.Р. Каримов, И.В. Кондракова, А.В. Куроедов, С.Н. Ланин, Дж.Н. Ловпаче, Е.В. Молчанова, З.М. Нагорнова, О.Н. Онуфрийчук, С.Ю. Петров, Ю.И. Рожко, Ж.О. Сангилбаева, А.В. Селезнев, Л.Б. Таштитова, С.В. Усманов, А.С. Хохлова, А.П. Шахалова, Р.В. Шевчук
Анализ вариантов гипотензивного лечения пациентов с первичной открытоугольной глаукомой по результатам многоцентрового исследования в клиниках шести стран 95
- R.V. Avdeev, A.S. Alexandrov, N.A. Bakunina, D.A. Belaya, A.Yu. Brezhnev, N.V. Volkova, L.M. Gabdrakhmanov, I.R. Gazizova, A.B. Galimova, V.V. Garkavenko, A.M. Getmanova, V.V. Gorodnichy, A.A. Gusarevitch, D.A. Dorofeev, Yu.F. Dyukareva, P.Ch. Zavadsky, A.B. Zakhidov, O.G. Zvereva, U.R. Karimov, I.V. Kondrakova, A.V. Kuroyedov, S.N. Lanin, Dzh.N. Lovpache, E.V. Molchanova, Z.M. Nagornova, O.N. Onufriyчук, S.Yu. Petrov, Yu.I. Rozhko, Zh.O. Sangilbayeva, A.V. Seleznev, L.B. Tashtitova, S.V. Usmanov, A.S. Khohlova, A.P. Shakhlova, R.V. Sevcuic
Analysis of variants of hypotensive treatment of patients with primary open-angle glaucoma by results of multicenter study in clinics of six countries

А.В. Бойко Дебют моторных проявлений болезни Паркинсона. Роль стресса	112	A.V. Boika The debut of motor symptoms of Parkinson's disease. The role of stress
А.В. Величко, В.В. Похожай, З.А. Дундаров, С.Л. Зыблев Дифференцированный подход к хирургическому лечению первичного гиперпаратиреоза	118	A.V. Velichko, V.V. Pohozhay, Z.A. Dundarov, S.L. Zyblev Differentiated approach to operant therapy of primary hyperparathyroidism
Н.В. Галиновская Состояние синтеза активных форм азота у пациентов с проходящими нарушениями мозгового кровообращения и лакунарным инсультом	129	N.V. Halinouskaya Status of active nitric oxide forms synthesis in patients with passing infringements of brain blood circulation and lacunar stroke
А.Ю. Захарко Предикторы развития неблагоприятных исходов беременности у женщин с метаболическим синдромом	142	A. Zakharko Predictors of development of adverse pregnancy outcome in women with metabolic syndrome
О.Н. Кононова, А.М. Пристром, А.В. Коротаев, Н.В. Николаева, О.В. Зотова, Е.В. Ковш, Я.Л. Навменова Применение суточного мониторинга артериального давления у беременных с метаболическим синдромом: анализ результатов	149	O. Kononova, A. Pristrom, A. Korotaev, N. Nikolaeva, O. Zotova, E. Kovsh, Y. Navmenova Application of daily monitoring of arterial blood pressure in pregnant women with metabolic syndrome: analysis of results
А.С.Подгорная, Т.С. Дивакова Ультразвуковые критерии эффективности применения гистерорезектоскопической абляции эндометрия и левоноргестрелсодержащей внутриматочной системы в лечении меноррагий, ассоциированных с аденомиозом	157	A.S.Podgornaya, T.S. Divakova Ultrasonic parameters of the uterus and ovaries in dynamics in patients with endometriosis of the uterus complicated by menorrhagia under the use of hystereselectoscopic ablation of the endometrium and levonorgestrel-containing intrauterine system

Обмен опытом

М.В. Кажина Мозг как эндокринный орган. Биологические эффекты и терапевтические возможности нейростероидов с позиции гинеколога (Клиническая лекция)	167
--	-----

Experience exchange

M.V. Kazhyna The brain as endocrine organ. Biological effects and therapeutic possibilities of neurosteroids (Clinical lecture)	
---	--

ОБЛУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНГАЛЯЦИОННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ПОЖАРАХ В ЗОНАХ ОТЧУЖДЕНИЯ И ОТСЕЛЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

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

В 2017 году проводился мониторинг ожидаемых доз облучения персонала от поступления радионуклидов ингаляционным путём при пожарах на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Приведены характеристики пожаров и результаты оценки ожидаемых доз облучения от ингаляции радионуклидов, которые получены расчётным путём с использованием коэффициентов подъёма (ре-суспензии) радионуклидов. Коэффициенты рассчитаны по данным измерений объёмной активности воздуха во время масштабного пожара в заповеднике в 2015 году и информации о плотности загрязнения зон пожаров. Эффективные дозы внутреннего облучения участников пожаротушения, ожидаемые в результате ингаляционного поступления радионуклидов в 2017 году, не превысят 0,1 мЗв. Приведены предложения по оптимальному использованию индивидуальных средств защиты дыхания при пожарах на указанной территории.

Ключевые слова: доза облучения, персонал, радионуклид, ингаляция

Введение

Хвойные леса, их высокая захламлённость, а также практически полное отсутствие дорог и противопожарных барьеров в наиболее загрязнённой радионуклидами заповедной части Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) определяют её высокую пожароопасность и создают дополнительные беспрецедентные факторы риска для персонала при ликвидации природных пожаров. Значительное радиоактивное загрязнение окружающей среды в 30-км зоне Чернобыльской АЭС усложнило задачу обеспечения безопасности при пожаротушении. Из трёх зон отчуждения (на территории восточно-уральского радиоактивного следа, вокруг поврежденных реакторов Чернобыльской и Фукусимской АЭС), с которых эвакуировано население и где прекращена традиционная хозяйственная деятельность, 30-км зона ЧАЭС является самой опасной вследствие загрязнения α -излучающими долгоживущими радионуклидами.

Противопожарные мероприятия, проводимые на загрязнённой радионуклидами территории, должны осуществляться с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем участников пожаротушения, а также в соответствии с правилами контроля радиоактивного загрязнения в лесах [1-3]. Однако контролируются только внешние дозы облучения персонала и содержание в организме ^{137}Cs , а контроль облучения работников 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, как в ПГРЭЗ, так и в других организациях, осуществляющих деятельность в зонах отчуждения и отселения Чернобыльской АЭС.

Проблема индивидуального дозиметрического контроля участников пожаротушения заключается в том, что для измерения объёмной активности воздуха, на основе которого оцениваются ожидаемые дозы внутреннего облучения за счёт ингаляционного поступления радионуклидов,

необходимо несколько дней и специальное оборудование. Такая оперативность во время пожара не позволяет нормировать продолжительность смены, принимать адекватные решения по применению индивидуальных средств защиты органов дыхания и других защитных мер.

Однако объёмную активность воздуха во время пожара можно не измерять, а с приемлемой точностью оперативно рассчитывать с помощью математической модели. Для определения значений параметров модели нужны реальные данные о плотности загрязнения почвы в зоне пожара и объёмной активности воздуха на различных расстояниях от кромки огня при разных категориях устойчивости атмосферы, силы ветра, ландшафтных условиях и видах пожара (лесной верховой и низовой, луговой, торфяной), количества и типа горючего материала на единице площади. Для сбора указанных данных проводится мониторинг радиоактивного загрязнения воздуха в зоне дыхания персонала во время пожаров на территории заповедника.

Глобальное изменение климата не даёт оснований надеяться на снижение количества и интенсивности пожаров. Вероятность аварий на объектах ядерной энергетики растёт вследствие их массового сооружения, поэтому разрабатываемая методология, результаты исследований и накопленный опыт по обеспечению радиационной безопасности участников пожаротушения в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике должны тщательно фиксироваться.

Цель исследований – оценить эффективные дозы облучения персонала, ожидаемые в результате ингаляционного поступления радионуклидов во время пожаров.

Материал и методы исследований

Объектами исследований являлись пожары на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, а также ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am , поступающие в воздух в результате высокотемпературной возгон-

ки и горения лесных материалов. При пожарах образуются частицы дыма, в состав которых входят или на которых конденсируются радионуклиды. Радиоактивные аэрозоли с частицами размером 0,1-10,0 мкм переносятся в атмосфере в процессе пожара. Крупные частицы 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.

^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Pu распадаются по схеме β -распада. ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am являются α -излучателями. Дочерний продукт ^{137}Cs – $^{137\text{m}}\text{Ba}$, ^{241}Pu и ^{241}Am могут при распаде также со значимой вероятностью испускать фотоны различных энергий (γ -кванты). Корпускулярное ионизирующее излучение, состоящее из потока частиц, образующихся при α -распаде ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu и ^{241}Am , может представлять значительную опасность. Несмотря на то, что проникающая способность α -частиц составляет 0,03-0,06 мм в биологической ткани, они обладают в 20 раз более высокой ионизирующей способностью и относительной биологической эффективностью по сравнению с β - и γ -излучением той же энергии.

Исследования проводились методами математического моделирования. На основании данных о плотности загрязнения территории, а также запасах горючего материала и подъёме радионуклидов с единицы поверхности в зависимости от вида пожара и класса пожарной опасности, может быть оценена максимальная объёмная активность в приземном слое атмосферы на различных удалениях от источника и при разных метеорологических условиях.

Использовались данные о плотности загрязнения зон пожаров ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am из официальных источников [4]. В связи с быстрой ликвидацией возгораний (таблица 1) уточнение плотности загрязнения зон пожаров путём отбора проб с последующим дорогостоящим радиохимическим выделением и осаждением радионуклидов, спектрометрическим определением активности не имело смысла.

Таблица 1 – Лесные пожары, произошедшие на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в 2017 году

Лесничество	Квартал	Выдел	Дата	Начало тушения	Окончание тушения	Плотность загрязнения, Ки·км ⁻²				
						²³⁸⁺²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Припятское	86	23	19,06	1332	1825	0,2	7	0,3	3	50
Дерновичское	20	8	19,06	1815	2200	0,05	0,8	0,06	0,4	10
Колыбанское	46	4	17,07	1456	2150	0,02	0,5	0,02	0,8	10
Воротецкое	31	12	17,07	1620	2030	0,1	1,3	0,1	2	30
	45	20	17,07	1855	2330	0,1	1,3	0,1	2	30
Хильчанское	2-3	22,16	26,07	1434	1910	0,03	0,4	0,03	0,5	10
Колыбанское	28	52	26,07	1820	2350	0,1	1,3	0,1	0,9	10
Тульговичское	75	3	16,08	1745	2230	0,02	0,3	0,02	0,3	20
	75	3	18,08	1415	2000	0,02	0,3	0,02	0,3	20
Крюковское	49	11	20,08	1710	2355	0,4	7	0,4	10	300
	22	26	29,09	1705	2030	0,1	2	0,1	5	60

Коэффициенты подъёма (ресуспензии) устанавливают линейную зависимость объёмной активности воздуха в зоне дыхания человека, находящегося на заданном расстоянии от кромки огня, от плотности загрязнения почвы в зоне пожара. Размерность коэффициентов подъёма – м⁻¹. Коэффициенты подъёма зависят от ряда параметров: силы и направления ветра, запаса горючих материалов в зоне пожара, вида пожара и типа почвы, устойчивости атмосферы, ландшафта и других, многие из которых сложно оперативно установить во время тушения пожара. Поэтому зарубежные эксперты рекомендуют и используют консервативные оценки коэффициентов подъёма [5-7].

В результате экспериментов с контролируемыми луговыми (горение сухой травы) и низовыми/переходящими в верховые лесными пожарами в зоне отчуждения ЧАЭС, были установлены следующие коэффициенты подъёма [5, 6]:

- при луговых пожарах 10⁻⁶-10⁻⁵ м⁻¹ для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs, а для изотопов Pu и ²⁴¹Am – 10⁻⁷-10⁻⁶ м⁻¹;
- при сильных низовых/переходящих в верховые лесных пожарах отношение концентраций всех радионуклидов в воздухе к запасу в горючем материале на единице поверхности составляло 10⁻⁷-10⁻⁶ м⁻¹.

С получением новых данных в качестве консервативных значений коэффициентов подъёма радионуклидов предложено использовать нижние границы указанных

диапазонов: для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs – 10⁻⁶ м⁻¹, а для радионуклидов Pu и ²⁴¹Am – 10⁻⁷ м⁻¹ [7].

Ожидаемая индивидуальная эффективная доза облучения от ингаляционного поступления радионуклидов D_{int}(t), Зв, рассчитывалась по формуле:

$$D_{int}(t) = t \cdot v \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot e(g)_i, (1)$$

В выражении (1) доза прямо пропорциональна продолжительности вдыхания загрязнённого воздуха t, ч, и интенсивности дыхания v, м³·ч⁻¹. Расчёт производился по техногенным радионуклидам, которые зарегистрированы на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, n. В формуле объёмная активность A_i, Бк·м⁻³, умножалась на соответствующие дозовые коэффициенты для ингаляционного поступления указанных радионуклидов. Дозовый коэффициент e(g)_i, Зв·Бк⁻¹, равен 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 [2, 8].

Результаты исследования

В 2017 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 подъема радионуклидов. Значения коэффициентов ресуспензии обоснованы в результате обработки данных измерений объёмной активности воздуха, проведённых в 2015 году во время масштабного лесного пожара на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника [9-11], и уточнения плотности загрязнения зоны пожара радионуклидами.

Установлено, что отношение средней приземной объёмной активности ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$) ^{90}Sr и ^{137}Cs в 300 м от кромки огня к средней плотности загрязнения зоны пожара ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$) составляло порядка 10^{-8} - 10^{-7} м^{-1} , а для радионуклидов Pu и ^{241}Am – 10^{-8} м^{-1} (таблица 2), что на порядок ниже значений, предлагаемых украинскими коллегами для консервативной оценки концентраций в зоне дыхания пожарных у кромки огня [7].

Следует отметить, что пожар на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в 2015 году был верховым, горели кроны деревьев, верхний слой коры и травяного покрова. Основной запас радионуклидов, расположенный в почве и подстилке леса, практически не тронут. Основным горючим материалом являлись иголки сосны.

При луговых и торфяных пожарах происходит подъём основного запаса радионуклидов, расположенного в лесной подстилке и верхнем слое торфа. Риски при пожа-

ротушении на таких участках возрастают ещё в несколько раз. Учитывая расстояние до кромки огня, а также приведённые обстоятельства, которые могут привести к более высоким объёмным активностям ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am в зоне дыхания участников пожаротушения, в качестве консервативных значений коэффициентов подъема радионуклидов приняты более высокие значения, рекомендуемые международными экспертами [7]: для ^{90}Sr и ^{137}Cs – 10^{-6} м^{-1} , а для радионуклидов Pu и ^{241}Am – 10^{-7} м^{-1} .

С применением указанных консервативных значений коэффициентов оценены максимально возможные концентрации радионуклидов в зоне дыхания участников пожаротушения. Объёмные активности ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am приведены в таблице 3.

При выборе дозовых коэффициентов для консервативной оценки эффективных доз внутреннего облучения принималось, что частицы аэрозоля имеют наиболее опасный аэродинамический по активности диаметр. Также принималось наихудшая (с точки зрения радиобиологических эффектов) растворимость частиц. Из растворимых частиц радионуклиды быстро всасываются в организм человека, а нерастворимые могут очень медленно выводиться из дыхательной системы в зависимости от места их отложения.

Результаты мониторинга ожидаемых ингаляционных доз облучения персонала, участвовавшего в тушении пожаров в 2017 году, рассчитаны по формуле (1) и приведены в Таблице 4. В строке «Суммарная доза облучения» указаны оценки ожидаемых доз внутреннего облучения участников пожаротушения в результате поступления радионуклидов в течение 54 часа 40 мин, которые заняла ликвидация 11 пожаров (консервативно принято, что на всех пожарах присутствовали одни и те же работники). Под таблицей 4 приведены значения соответствующих дозовых коэффициентов.

При пожарах на территории заповедника в 2017 году основной вклад в дозу ожидается от ингаляционного поступления ^{137}Cs

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	$1,3 \cdot 10^{-8}$
^{241}Am	$2,3 \cdot 10^{-8}$
^{90}Sr	$5,7 \cdot 10^{-7}$
^{137}Cs	$2,7 \cdot 10^{-8}$

Таблица 3 – Консервативные оценки объёмной активности радионуклидов в зоне дыхания участников пожаротушения в 2017 году, мБк·м⁻³

Лесничество	Квартал	Выдел	²³⁸⁺²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Припятское	86	23	0,74	26	1	110	1900
Дерновичское	20	8	0,19	3,0	2	15	370
Колыбанское	46	4	0,074	1,9	0,07	30	370
Воротецкое	31	12	0,37	4,8	0,37	74	1100
	45	20	0,37	4,8	0,37	74	1100
Хильчанское	2-3	22, 16	0,11	1,5	0,1	19	370
Колыбанское	28	52	0,37	4,8	0,37	33	370
Тульговичское	75	3	0,074	1,1	0,074	11	740
	75	3	0,074	1,1	0,074	11	740
Крюковское	49	11	1,5	26	1,5	370	11000
	22	26	0,37	7,4	0,37	190	2200

и β-излучателя ⁹⁰Sr (⁹⁰Sr→⁹⁰Y). Установлено, что на территории заповедника и прилегающей в нему территории, несмотря на значительно большую плотность загрязнения территории ¹³⁷Cs по сравнению со ⁹⁰Sr, последний преобладает как в золе [12], так и в растениях [13]. Поэтому существенный вклад ⁹⁰Sr в ожидаемую ингаляционную дозу объясняется не только его большей опасностью, отражённой в более высоких дозовых коэффициентах, но и его более высокой доступностью для корневой системы растений. Особенности загрязнения почвы исследованных 11 зон пожаров таковы, что вклад трансурановых элементов – ²⁴¹Am и изотопов плутония составил только 13%.

В результате того, что зоны пожаров 2017 года в среднем более загрязнены радионуклидами, а время тушения пожаров составило более 54 часов, облучение участников пожаротушения ожидается в большей дозе, чем при ликвидации масштабного лесного пожара в июне 2015 года на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. В 2017 году 64% дозовых затрат ожидается при тушении 2 пожаров в Крюковском лесничестве, одном из наиболее загрязнённых на территории заповедника.

В 2017 году пожары происходили на выделах с максимальной плотностью загрязнения α-излучающими трансурано-

Таблица 4 – Ожидаемые дозы облучения участников пожаротушения, обусловленные ингаляционным поступлением радионуклидов в 2017 году, мкЗв (при постоянном составе участников и без использования средств индивидуальной защиты органов дыхания)

Время тушения, мин	²³⁸⁺²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	ΣD	Вклад в дозу, %
292	0,71	0,45	0,88	3,4	2,5	8,0	11
225	0,14	0,040	0,14	0,35	0,39	1,1	1
414	0,10	0,046	0,084	1,29	0,72	2,2	3
250	0,30	0,072	0,25	1,9	1,3	3,9	5
275	0,33	0,079	0,28	2,1	1,4	4,3	6
276	0,10	0,024	0,084	0,54	0,48	1,2	2
310	0,38	0,089	0,31	1,1	0,54	2,4	3
285	0,069	0,019	0,058	0,33	0,99	1,5	2
345	0,084	0,023	0,070	0,40	1,2	1,8	2
405	2,0	0,62	1,6	16	21	41	55
205	0,25	0,090	0,21	4,0	2,1	6,7	9
Суммарная ожидаемая доза	4,4	1,6	4,0	31	33	74	
Вклад в дозу, %	6	2	5	42	44	100	
Дозовые коэффициенты, Зв/Бк	4,70·10 ⁻⁵	8,5·10 ⁻⁷	3,9·10 ⁻⁵	1,5·10 ⁻⁷	6,7·10 ⁻⁹		

выми элементами 0,8 Ки/км². Однако имеются на территории заповедника пожароопасные участки, в 10 и более раз загрязнённые изотопами плутония и ²⁴¹Am. В случае пожара на территории, например, в районе научно-исследовательской станции «Масаны», дозы облучения персонала, обусловленные ингаляционным поступлением радионуклидов, могут достичь уровня доз от внешнего облучения ¹³⁷Cs, находящимся в почве.

Следует также отметить, что на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника до настоящего времени сохранились нерастворенные высокоактивные частицы облученного ядерного топлива микронного размера. В ближней зоне их удельная активность может достигать ⁹⁰Sr~6·10¹¹ Бк/кг; ²³⁸Pu~6·10⁹ Бк/кг; ²³⁹Pu~5·10⁹ Бк/кг; ²⁴⁰Pu~8·10⁹ Бк/кг; ²⁴¹Am~3·10¹⁰ Бк/кг [6, 7]. Во время пожаров эти топливные частицы с восходящими конвективными потоками воздуха могут подниматься в атмосферу и представлять опасность при ингаляционном поступлении для участников пожаротушения. Проведённые исследования показали, что необходимы более глубокие исследования подъёма топливных частиц во время пожаров в почвенно-климатических и ландшафтных условиях, характерных для Белорусского Полесья, особенно – при пожарах на торфяниках. В связи с этим на всей территории ПГРЭЗ во время тушения пожаров должны использоваться индивидуальные средства защиты органов дыхания.

Заключение

Установлено, что в результате ингаляционного поступления радионуклидов во время тушения пожаров в 2017 году дозы облучения персонала не превысят 0,1 мЗв, что составляет 2% процента от установленного в учреждении контрольного уровня (5 мЗв/год) и доли процента от установленного законодательством дозового предела для персонала (20 мЗв/год).

Результаты проведённых исследований свидетельствуют, что соглас-

но установленным критериям радиационной безопасности, необходимости в специальных защитных мероприятиях и применении средств индивидуальных защиты органов дыхания участниками пожаротушения не было. Однако:

- учитывая недостаточную изученность процесса формирования аэрозолей в воздухе при некоторых видах природных пожаров;
- принимая во внимание неопределённость оценки устойчивости атмосферы во время пожара;
- учитывая возможность конвективного подъёма и наличия в дыме топливных частиц,

рекомендуется не отменять защитные меры во время тушения пожаров в зонах отчуждения и отселения Чернобыльской АЭС, в том числе применение средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Следует отметить, что результаты оценки ожидаемых доз внутреннего облучения имеют значительную неопределённость, так как параметры дозиметрической модели существенно зависят от почвенно-климатических и ландшафтных особенностей зоны пожара, метеоусловий. Для уточнения оценок необходим отбор проб аэрозолей в зоне дыхания участников пожаротушения на различном удалении от кромки огня, видах пожара и т.д., т.е. достаточный объём фактических данных при различных условиях.

Проведённые исследования показали, что необходимы более глубокие исследования подъёма топливных частиц во время пожаров в почвенно-климатических и ландшафтных условиях, характерных для Белорусского Полесья, особенно на торфяниках. Требуют оценки не только объёмная активность радионуклидов в воздухе, но и растворимость, дисперсный состав частиц (распределение активности частиц по их размерам), образующихся в результате горения. Эти факторы оказывают существенное влияние на поступление и метаболизм радионуклидов в организме, радиационные риски персонала и населения.

Библиографический список

1. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности». – [Действующие от 28.12.2012 г.] / [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://pravo.newsby.org/belarus/postanov1/pst167/index.htm>.
2. 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.
3. Положение о контроле радиоактивного загрязнения. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – [Действующие от 11.02.2016 г.] / [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=85648.
4. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича – Москва: Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа; Минск: Белкартография, 2009. – 140 с.
5. Kashparov, V.A. Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters / V.A. Kashparov // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2000. – Vol. 51. – P. 281-298.
6. Передовой опыт и рекомендации по борьбе с природными пожарами на территориях с радионуклидным загрязнением / Й. Голдаммер [и др.] // Глобальный центр мониторинга пожаров, Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии, Национальный Университет биоресурсов и природопользования Украины, Региональный восточноевропейский центр пирологического мониторинга, «Зеленый крест» Швейцарии». – Фрайбург – Базель – Киев – 2014. – 48 с.
7. Руководство для участников тушения лесных пожаров в белорусском и украинском секторах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // ОБСЕ. – Фрайбург – Гомель – Киев – 2016. – 70 с.
8. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. Interim edition // Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011. 303 p.
9. 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.
10. Буздалкин К.Н. Мониторинг ожидаемых доз облучения спасателей в случаях пожаров на территории радиоактивного загрязнения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова, А.Б. Кухтевич // *Научно-практический рецензируемый журнал «Чрезвычайные ситуации: образование и наука»*. – Гомель: ГУО «ГИИ», 2015. – Т.10(2). – С.61-64.
11. 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.
12. Буздалкин, К.Н. Загрязнение сельскохозяйственных земель ^{90}Sr в результате внесения древесной золы в качестве удобрения / К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова // *Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф.* (Гомель, 21-22 апр. 2016 г.). – Гомель: Ин-т радиологии, 2016. – С. 294-295.
13. Ожидаемые дозы внутреннего облучения жителей некоторых населённых пунктов Гомельской области / В.С. Аверин [и др.] // *Научно-практический рецензируемый журнал «Медико-биологические проблемы жизнедеятельности»* – 2016. – №1(15). – С.77–81.

K.N. Bouzdalkin

**IRRADIATION OF THE PERSONNEL AS A RESULT OF RADIONUCLIDES
INHALATION DURING FIRES IN CHERNOBYL EXCLUSION ZONE**

In 2017 the monitoring of the expected exposure doses of the personnel from radionuclide intake by inhalation during the fires was carried out in the Polesye state radiation-ecological reserve. The characteristics of fires and the assessment results of the expected exposure via radionuclides inhalation that are obtained by calculation using the coefficients of resuspension are presented. The coefficients are calculated using measurements of volume air activity during large-scale fire in the reserve in 2015 and information on the density contamination of areas of the fires. The personnel effective dose of internal exposure expected due radionuclides inhalation during all fires in 2017 will not exceed 0,1 mSv. Optimal using of personal protective equipment is suggested.

Key words: *irradiation dose, personnel, radionuclide, inhalation*

Поступила 02.02.2018