

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
MINISTRY OF HEALTHCARE OF THE RUSSIAN FEDERATION
ФЕДЕРАЛЬНОЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО (ФМБА РОССИИ)
FEDERAL MEDICAL BIOLOGICAL AGENCY (THE FMBA OF RUSSIA)

МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

MEDICAL RADIOLOGY AND RADIATION SAFETY

Meditsinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost

2017

Том 62

№ 5

Периодический научный журнал. Издаётся с 1956 года
Periodical scientific journal. Published since 1956

Журнал включен в перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов,
рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований.
The journal is included in the list of VAK (Higher Attestation Commission) of the leading
peer-reviewed scientific journals recommended for publication of the results of thesis works

Журнал вошел в Перечень Russian Science Citation Index (RSCI),
размещенный на платформе Web of Science

The journal entered the Russian Science Citation Index (RSCI),
hosted on the Web of Science platform

Москва
Moscow

МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Журнал основан в январе 1956 года
(до 30 декабря 1993 года выходил под названием «Медицинская радиология»)
Периодичность издания: шесть выпусков в год
ISSN: 1024-6177

Журнал выходит при поддержке Федерального медико-биологического агентства России (ФМБА России)

Главный редактор В.В. УЙБА – д.м.н., проф.

Редакционная коллегия:

Г.М. Аветисов – д.б.н., проф.; Р.М. Алексахин – д.б.н., проф., академик РАН; Р.В. Арутюнян – д.ф.-м.н., проф.;
А.В. Бойко – д.м.н., проф.; А.П. Бирюков – д.м.н., проф.; А.Ю. Бушманов – д.м.н., проф.; А.А. Вайнсон – д.б.н., проф.; В.Ф. Де-
мин – д.т.н., к.ф.-м.н., доцент; С.И. Иванов – д.м.н., проф.; И.П. Коренков – д.б.н., к.т.н., проф.;
А.Н. Котеров – д.б.н.; М. Марков – PhD, проф., США; В.Б. Назаров – д.б.н., к.х.н., зам. главного редактора;
Б.Я. Наркевич – д.т.н., к.ф.-м.н., проф., научный и выпускающий редактор; К. Нурлыбаев – к.т.н.; В.В. Романов;
А.С. Самойлов – д.м.н., зам. главного редактора; М.К. Сневе – PhD, Норвегия; С.И. Ткачев – д.м.н., проф.;
И.Е. Тюрин – д.м.н., проф.; П. Урингтон – PhD, проф., США; Б.Н. Фаунтес – PhD, США; Н.К. Шандала – д.м.н.;
А.В. Шафиркин – д.б.н.; С.М. Шинкарев – д.т.н.

Редакционный совет:

С.С. Алексанин – д.м.н., проф., член-корр. РАН; М.И. Балонов – д.б.н., проф., Санкт-Петербург;
А.Х. Гонзалес – академик, представитель НКДАР ООН, член МАГАТЭ, Аргентина; М.В. Забелин – д.м.н., проф.;
В.К. Иванов – д.т.н., проф., член-корр. РАН, Обнинск; Л.А. Ильин – д.м.н., проф., академик РАН;
П.К. Казымбет – д.м.н., проф., Казахстан; Н.М. Оганесян – д.м.н., проф., академик АМН РА, Армения;
М. Пинак – член МАГАТЭ; А.В. Рожко – д.м.н., доцент, Белоруссия; Г.М. Румянцева – д.м.н., проф.;
В.А. Саенко – д.б.н., ассоциированный проф., Япония

Все статьи в журнале печатаются бесплатно

Заведующий редакцией Э.С. Зубенкова
Компьютерная верстка В.В. Колесниченко
Технический редактор А.С. Лунев

Адрес редакции журнала:

123098, Москва, ул. Живописная, 46
Телефон: (499) 190-95-51

E-mail: medradiol@fromru.com, medradiol@yandex.ru
Сайт журнала: <http://www.medradiol.ru>
Годовой подписной индекс Агентства «Роспечать» – 71814
Подписано в печать 16.10.2017. Формат 60 × 88/8
Печать офсетная. 13,5 усл. печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
123098, Москва, ул. Живописная, 46

MEDICAL RADIOLOGY AND RADIATION SAFETY

The journal was founded in January 1956
Up to 30 December 1993 was published under the title «Medical Radiology»
Frequency of publication: six issues per year
ISSN: 1024-6177

The journal is published with support of The Federal Medical-Biological Agency of Russia FMBA of Russia

Editor in Chief Vladimir Uiba – Dr. Sc. Med., Prof.

Editorial Board:

G. M. Avetisov – Dr. Sc. Biol., Prof.; R. M. Aleksakhin – Dr. Sc. Biol., Academician of RAS;
R. V. Arutyunyan – Dr. Sc. Phys.-Math., Prof.; A. V. Boiko – Dr. Sc. Med., Prof.; A. P. Biryukov – Dr. Sc. Med., Prof.;
A. Yu. Bushmanov – Dr. Sc. Med., Prof.; A. A. Wainson – Dr. Sc. Biol., Prof.; V. F. Demin – Dr. Sc. Tech., Cand. Sc. Phys.-Math., Assistant
Prof.; S. I. Ivanov – Dr. Sc. Med., Prof.; I. P. Korenkov – Dr. Sc. Biol., PhD Tech., Prof.;
A. N. Kotterov – Dr. Sc. Biol.; M. Markov – Prof., USA; V. B. Nazarov – Dr. Sc. Biol., PhD Chem., Deputy Chief Editor; B. Ya. Narkevich –
Dr. Sc. Tech., PhD Phys.-Math., Prof., Scientific and Production Editor;
K. N. Nurlybaev – PhD Tech.; V. V. Romanov; A. S. Samoylov – Dr. Sc. Med., Deputy Chief Editor; M. K. Sneve – Norway;
S. I. Tkachev – Dr. Sc. Med., Prof.; I. E. Tyurin – Dr. Sc. Med., Prof.; P. Wington USA; B. N. Fountas – USA;
N.K. Shandala – Dr. Sc. Med.; A. V. Shafirkin – Dr. Sc. Biol.; S. M. Shinkarev – Dr. Sc. Tech.

Editorial council:

S. S. Aleksanin – Dr. Sc. Med., Prof., Corresponding Member of RAS; M. I. Balonov – Dr. Sc. Biol., Prof.;
A. J. Gonzalez – Academician, Member of the IAEA; M. V. Zabelin – Dr. Sc. Med., Prof.;
V. K. Ivanov – Dr. Sc. Tech., Prof., Chairman of the Russian Scientific Commission on Radiological Protection,
Corresponding Member of RAS, L. A. Ilyin – Dr. Sc. Med., Prof., Academician of RAS;
P. K. Kazymbet – Dr. Sc. Med., Prof., Kazakhstan; N. M. Oganessian – Dr. Sc. Med., Prof., Academician of ARA, Armenia;
M. Pinak – Member of the IAEA; A. V. Rozhko – Dr. Sc. Med., Associate Prof., Belarus;
G. M. Rumyantseva – Dr. Sc. Med., Prof.; V. A. Saenko – Dr. Sc. Biol., Associate Prof., Japan

All articles in the journal are printed free of charge

Head of Editorial Office: E. S. Zubenkova
Computer-aided makeup: V. V. Kolesnichenko
Technical Editor: A. S. Lunev

Address of Editorial Board:

46, Zhivopisnaya st., 123098, Moscow, Russia
Phone: +7 (499) 190-95-51

E-mail: medradiol@fromru.com, medradiol@yandex.ru
The journal website: <http://www.medradiol.ru>
The annual subscription index Agency “Rospechat” – 71814
Signed to print 16.10.2017. Format 60 × 88/8
Offset printing. 13.5 conv. printed sheet. 1000 copies. Order #
Printed by SRC-FMBC
123098, Moscow, Zhivopisnaya st. 46

СОДЕРЖАНИЕ № 5 – 2017

РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ	5	Исследование содержания уридилловых нуклеотидов и активности аспартаткарбамоилтрансферазы в тканях облученных крыс при введении оротовой кислоты и перфторана <i>Э.Р. Нагиев, С.Э. Нагиева, Ф.Э. Исмаилова</i>
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	11	Об установлении границ зон радиоактивного загрязнения в результате крупных радиационных аварий. Сообщение I. Ретроспективный анализ опыта зонирования при аварии на ЧАЭС <i>А.М. Скоробогатов, М.Г. Герменчук, А.В. Симонов, О.М. Жукова, О.Н. Апанасюк, Ю.Н. Голиков, Т.А. Буланцева, Л.Ю. Лупач</i>
	21	Радиационная обстановка на рабочих местах персонала наземных объектов Приаргунского производственного горно-химического объединения <i>Н.К. Шандала, А.М. Маренный, Д.В. Исаев, А.В. Титов, С.М. Киселев, М.П. Семенова, Н.А. Нефедов, В.И. Астафуров, Л.А. Журавлёва, М.А. Маренный, Е.А. Хохлова, В.В. Уйба</i>
РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА	28	Организация индивидуальной защиты персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения <i>В.И. Рубцов, В.Н. Клочков, А.Ю. Нефедов, Л.И. Тюнеева, Е.В. Клочкова, А.Б. Требухин</i>
ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА	33	Преимущество комбинированной ОФЭКТ/КТ в диагностике метастазов в костях <i>А.Д. Рыжков, А.С. Крылов, С.В. Ширяев, Я.А. Щипахина, Н.В. Кочергина</i>
ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ	40	Корреляция между радиотерапевтической дозой на лимфоидные опухоли средостения и дозой на сердечно-сосудистую систему при использовании системы контроля дыхания пациента <i>Е.В. Филатова, О.Н. Ламанова, П.В. Филатов, А.А. Жеравин</i>
РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА, ТЕХНИКА И ДОЗИМЕТРИЯ	47	Реконструкция действующего спектра тормозного излучения медицинских линейных ускорителей электронов по глубинным распределениям дозы в водном фантоме <i>В.А. Климанов, Ж.Ж. Галяутдинова, Н.Н. Могиленец, В.В. Смирнов</i>
ОБЗОР	52	Локорегионарная гипертермия злокачественных опухолей: методики, термометрия, аппаратура <i>О.К. Курпешев, J. van der Zee</i>
РЕЦЕНЗИЯ	64	Рецензия на книгу “Dosimetry in Bioelectromagnetics” Ed. by Marko Markov. – Boca Raton: CRC Press, Taylor & Frankis Group. 2017. 428 pp. <i>Л.П. Жаворонков, В.Г. Петин</i>
ХРОНИКА	67	Федеральному медико-биологическому агентству – 70 лет <i>А.С. Самойлов</i>
	69	Дагестанскому государственному медицинскому университету в 2017 г. исполняется 85 лет <i>С.М. Маммаев, Э.Р. Нагиев, Р.К. Шахбанов</i>
	72	Итоги 64-й сессии научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН (Вена, 29 мая – 2 июня 2017 г.) <i>В.В. Уйба, А.В. Аклеев, Т.В. Азизова, С.А. Гераськин, В.К. Иванов, Д.Ф. Ильясов, Л.А. Карпикова, А.Н. Котеров, А.И. Крышев, С.Г. Михеенко, С.А. Романов, В.Ю. Усольцев, С.М. Шинкарев</i>
ЮБИЛЕЙ	84	К 70-летию П.К. Казымбета

CONTENTS № 5 – 2017

RADIATION BIOLOGY	5	Study of Uridylic Nucleotides Contents and the Investigation Aspartate Carbamoyltransferase in Liver and Small Intestine Mucosa Exposed when Administered to Rats Orotic Acid and Perftoran <i>E.R. Nagiev, S.E. Nagieva, F.E. Ismailova</i>
RADIATION SAFETY	11	About Defining the Borders of Radioactive Contamination Zones as a Result of Large Radiation Accidents. Message I. Post-Accident Analysis of Chernobyl Zoning Experience <i>A.M. Skorobogatov, M.G. Germenchuk, A.V. Simonov, O.M. Zhukova, O.N. Apanasyuk, Yu.N. Golikov, T.A. Bulantseva, L.Yu. Lupach</i>
	21	Radiation Situation in Workplaces of the Personnel at the Ground Facilities of the Priargun Production Mountain Chemical Association <i>N.K. Shandala, A.M. Marennny, D.V. Isaev, A.V. Titov, S.M. Kiselev, M.P. Semenova, N.A. Nephedov, V.I. Astaphurov, L.A. Zhuravleva, M.A. Marennny, E.A. Khohlova, V.V. Uiba</i>
RADIATION MEDICINE	28	Organization of Personnel Individual Protection Conducting Diagnostic and Treatment Procedures Using Radionuclide and Generating Sources of Ionizing Radiation <i>V.I. Rubtsov, V.N. Klochkov, A.Yu. Nephedov, L.I. Tyuneeva, E.V. Klochkova, A.B. Trebukhin</i>
DIAGNOSTIC RADIOLOGY	33	The Advantage of a Combined SPECT/CT in the Diagnosis of Bone Metastases <i>A.D. Ryzhkov, A.S. Krylov, S.V. Shiryaev, Ya.A. Shchipakhina, N.V. Kochergina</i>
RADIATION THERAPY	40	A Correlation between Radiotherapy Dose on the Mediastinal Lymphoma and Cardiovascular Dose with Using Respiratory Control System <i>E.V. Filatova, O.N. Lamanova, P.V. Filatov, A.A. Zheravin</i>
RADIATION PHYSICS, TECHNOLOGY AND DOSIMETRY	47	Reconstruction of Bremsstrahlung Spectrum of Medical Electron Linear Accelerators from Deep Dose Distributions in Water Phantom <i>V.A. Klimanov, J.J. Galjautdinova, N.N. Mogilenets, V.V. Smirnov</i>
REVIEW	52	Locoregional Hyperthermia of Malignant Tumors: Methods, Thermometry, Machines <i>O.K. Kurpeshev, J. van der Zee</i>
REVIEW	64	Book review “Dosimetry in Bioelectromagnetics” Ed. by Marko Markov. – Boca Raton: CRC Press, Taylor & Frankis Group. 2017. 428 pp. <i>L.P. Zhavoronkov, V.G. Petin</i>
CHRONICLE	67	The 70th Anniversary of Federal Medical Biological Agency <i>A.S. Samoylov</i>
MEDICAL PRACTICE ISSUE	69	Dagestan State Medical University Celebrated 85th Anniversary in 2017 <i>S.M. Mammaev, E.R. Nagiev, R.K. Shakhbanov</i>
	72	Results of the 64th Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 29 May – 2 June, 2017) <i>V.V. Uyba, A.V. Akleyev, T.V. Azizova, S.A. Geras'kin, V.K. Ivanov, D.F. Ilyasov, L.A. Karpikova, A.N. Koterov, A.I. Kryshev, S.G. Mikheyenko, S.A. Romanov, V.Yu. Usoltsev, S.M. Shinkarev</i>
JUBILEE	84	On the 70th anniversary of P.K. Kazymbet

DOI 10.12737/article_59f2ef130f5421.00591025

Э.Р. Нагиев, С.Э. Нагиева, Ф.Э. Исмаилова**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРИДИЛОВЫХ НУКЛЕОТИДОВ И АКТИВНОСТИ АСПАРТАТКАРБАМОИЛТРАНСФЕРАЗЫ В ТКАНЯХ ОБЛУЧЕННЫХ КРЫС ПРИ ВВЕДЕНИИ ОРОТОВОЙ КИСЛОТЫ И ПЕРФТОРАНА**

Дагестанский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Махачкала. E-mail: nagiev53@mail.ru

Э.Р. Нагиев – академик РАЕН, Заслуженный работник высшей школы РФ, проф., д.м.н., зав. кафедрой общей и биологической химии ДГМУ; С.Э. Нагиева – доцент, к.м.н.; Ф.Э. Исмаилова – ассистент, к.м.н.

Реферат

Цель: Исследование удельного содержания (на 1 г ткани) уридиловых нуклеотидов и активности ключевого фермента синтеза *de novo* пиримидиновых нуклеотидов аспартаткарбамоилтрансферазы (АКТ) в печени и слизистой оболочке тонкой кишки облученных животных при введении оротовой кислоты (предшественника основного пути синтеза пиримидиновых нуклеотидов) и перфторана – плазмозаменителя с газотранспортной функцией.

Материал и методы: Исследования проведены на белых беспородных крысах, подвергшихся однократному общему воздействию γ -излучения в среднетальной дозе 6 Гр. Оротовую кислоту вводили внутривенно в виде калиевой соли на физиологическом растворе в дозе 60 мг/кг, водную эмульсию перфторана вводили в хвостовую вену в дозе 1 мл/100 г.

Результаты: По содержанию уридиловых нуклеотидов печени и слизистой оболочки тонкой кишки у контрольных крыс распределяются следующим образом: уридинмонофосфат (УМФ) > уридинтрифосфат (УТФ) > уридиндифосфат (УДФ). Суммарный уровень исследуемых нуклеотидов печени заметно выше в сравнении со слизистой оболочкой тонкой кишки. Установлено закономерное снижение содержания УТФ и УДФ, а также повышение уровня УМФ после радиационного воздействия, особенно выраженное на 7-е сут после облучения. Более существенные изменения содержания уридиловых нуклеотидов и активности АКТ имели место в целом в более радиочувствительной ткани – слизистой оболочке тонкой кишки по сравнению с тканью печени. Введение облученным животным оротовой кислоты и перфторана способствовало коррекции, как содержания отдельных нуклеотидов, так и активности АКТ.

Выводы: Воздействие ионизирующей радиации приводит к снижению содержания уридиловых макроэргических полифосфатов, особенно УТФ. Изменения содержания нуклеотидов и активности АКТ в слизистой оболочке тонкой кишки несколько более выражены в сравнении с тканью печени. Сочетанное введение оротовой кислоты и перфторана способствует относительной нормализации содержания уридиловых нуклеотидов и активности АКТ в тканях печени и слизистой оболочки тонкой кишки облученных животных.

Ключевые слова: уридиловые нуклеотиды, аспартаткарбамоилтрансфераза, облучение, оротовая кислота, перфторан, печень, тонкая кишка, слизистая оболочка

Поступила: 13.11.2015. Принята к публикации: 21.09.2017

Введение

В связи с возрастающим использованием различных видов ионизирующих излучений и радиоактивных изотопов в народном хозяйстве, медицинской науке и практике здравоохранения, изучение биохимических механизмов их действия на организм представляется одной из наиболее актуальных задач современной медицинской радиологии и радиационной биохимии.

Группа уридиловых нуклеозидфосфатов играют важную роль в клеточном метаболизме. В частности, эти нуклеотиды являются компонентами различных видов рибонуклеиновых кислот (РНК), из них синтезируются все другие нуклеотиды пиримидиновой группы – цитидиловые и тимидиловые, являющиеся структурными компонентами ДНК клетки. Уридиловые нуклеотиды также участвуют в синтезе гликогена, взаимопревращениях различных сахаров, выполняют роль коферментов, оказывая регуляторное влияние на различные физиологические процессы в организме [1, 2].

Данные литературы свидетельствуют о том, что наряду со снижением количества АТФ и ГТФ, в различных тканях облученного организма происходят также существенные изменения содержания отдельных форм уридиловых нуклеозидфосфатов [3, 4]. Вместе с тем, пострadiационные изменения содержания и метаболизма уридиловых нуклеотидов могут быть уязвимым звеном биосинтеза и расщепления нуклеиновых кислот, и, опосредованно, сложных белков, а также углеводов в тканях облученного организма.

Важнейшей задачей радиационно-биохимических исследований является разработка способов направленной регуляции обмена с целью ослабления патологического процесса и улучшения исхода облучения [5, 6]. В этом плане интерес представляет применение оротовой кислоты (витамин В₁₃), промежуточного продукта основного пути биосинтеза пиримидиновых нуклеотидов, а также перспективного отечественного препарата перфторана для коррекции метаболизма уридиловых нуклеотидов в тканях облученных животных.

Перфторан – кровезамещающее средство с газотранспортной функцией. Препарат обладает реологическим, гемодинамическим, диуретическим, мембраностабилизирующим, кардиопротекторным и сорбционными свойствами. Перфторан представляет собой субмикронную водную эмульсию на основе перфторорганических соединений. Препарат был разработан группами советских и российских учёных под руководством Ф.Ф. Белоярцева и Г.Р. Иваницкого и позднее под руководством С.И. Воробьёва. В средствах массовой информации перфторан также известен как «голубая кровь». Следует отметить, что в последние годы существенно усилились исследования перфторуглеродов, в частности перфторана, как в экспериментальном, так и в клиническом плане, поскольку механизм защитного действия перфторана связан не только с газотранспортными и реологическими свойствами, но и с непосредственным взаимодействием перфторана с мембранами клеток, что стабилизирует последние [7, 8].

Как известно, оротовая кислота – эндогенный метаболит, утилизируемый для синтеза пиримидиновых нуклеотидов, входящих в состав ДНК и РНК. Поэтому оротовая кислота способствует синтезу белков, делению клеток, регенерации тканей, кроветворению, что особенно важно при лучевых поражениях. Оротовая кислота – единственное циклическое соединение, включающееся в пиримидиновые нуклеотиды после введения извне. Это соединение и ее соли рассматриваются как вещества анаболического действия и применяются при нарушении нуклеинового и белкового обмена, а также как общие стимуляторы обменных процессов [1, 9].

Целью настоящей работы являлось исследование применения оротовой кислоты и перфторана для коррекции содержания уридилловых нуклеотидов в печени и слизистой оболочке облученных животных.

Материал и методы

Экспериментальные исследования проводились на 110 половозрелых беспородных белых крысах-самцах, массой 170–190 г. Животных подвергали однократному общему гамма-облучению ^{60}Co в дозе 6 Гр, мощность дозы 0,48 Гр/мин, утром, на гамма-терапевтической установке «Агат-С»; расстояние источник–поверхность 50 см; поле 9×13 см. С целью иммобилизации при облучении животных помещали в специально изготовленные нами клетки из тонкого органического стекла с отверстиями для доступа воздуха.

Животных до и после облучения взвешивали, а после воздействия радиации проводили следующие наблюдения: оценивали общее состояние, подвижность, потребление пищи, состояние кожных покровов и видимых слизистых, наличие диареи и других патологических проявлений.

Опыты проводились через 1 ч, 1, 3 и 7 сут после радиационного воздействия. Такая постановка экспериментов позволяла изучить наиболее ранние постлучевые биохимические изменения нуклеотидного обмена в динамике развития лучевого поражения.

Таблица 1

Содержание уридилловых нуклеотидов в печени крыс (мкмоль на 1 г ткани) после облучения и введения перфторана и оротовой кислоты ($M \pm m$)

Серии опытов	УТФ	УДФ	УМФ
Контроль	0,217 ± 0,011 <i>n</i> = 10	0,125 ± 0,009 <i>n</i> = 10	0,515 ± 0,023 <i>n</i> = 10
Время после облучения			
1 ч	0,176 ± 0,014 <i>n</i> = 6	0,118 ± 0,012 <i>n</i> = 6	0,536 ± 0,034 <i>n</i> = 6
1 сут	0,135 ± 0,009 ^x <i>n</i> = 7	0,110 ± 0,008 <i>n</i> = 6	0,375 ± 0,012 ^x <i>n</i> = 7
3 сут	0,144 ± 0,015 ^x <i>n</i> = 8	0,093 ± 0,007 <i>n</i> = 6	0,813 ± 0,093 ^x <i>n</i> = 8
7 сут	0,112 ± 0,008 ^x <i>n</i> = 8	0,081 ± 0,007 ^x <i>n</i> = 8	1,014 ± 0,059 <i>n</i> = 7
Облучение 7 сут + перфторан и оротовая кислота	0,169 ± 0,012 ^{xx} <i>n</i> = 8	0,142 ± 0,02 ^{xx} <i>n</i> = 8	0,757 ± 0,034 ^{xx} <i>n</i> = 8

Примечание: Здесь и далее ^x*p* < 0,05 – значимость различий по отношению к контролю; ^{xx}*p* < 0,05 – значимость различий по отношению к группе крыс, которым не вводили препараты

Исследования показателей проводились для тканей с различной радиочувствительностью – для печени и слизистой оболочки тонкой кишки.

Для коррекции постлучевых нарушений использовали оротовую кислоту и перфторан. Оротовую кислоту вводили внутривенно в дозе 60 мг/кг на физрастворе (0,15 моль/л NaCl). Перфторан животным вводили в хвостовую вену в дозе 1 мл/100 г [8, 10]. Препараты вводились через 30 мин после облучения и повторно через 24 и 48 ч после радиационного воздействия. Контрольной группе крыс вводили физиологический раствор в дозировках используемых препаратов.

Забой облученных животных после сочетанного введения оротовой кислоты и перфторана осуществляли на 7-е сут после облучения.

Содержание уридилловых нуклеотидов определяли методом ионообменной хроматографии на колонках с Dowex размером 1×8 см, 200–400 меш [11] и выражали в микромолях на 1 г сырой массы ткани.

Активность АКТ определяли по количеству неорганического фосфата, который в результате реакции отщеплялся от карбамоилфосфата [12].

Полученные экспериментальные данные подвергали статистической обработке [13], с использованием компьютерной программы Statistika V.5.5A. Численные данные представлены через среднее значение и стандартную ошибку (форма представления $M \pm m$). Для межгруппового сравнения использован *t*-критерий Стьюдента. Уровень статистической значимости различий принят равным 95 %.

Результаты и обсуждение

Наглядное сравнение данных, представленных в табл. 1 и 2, свидетельствует, что показатели содержания всех форм уридилловых нуклеотидов в печени (табл. 1), по всей видимости, существенно выше, чем в слизистой оболочке тонкой кишки (табл. 2). По величине содержания в расчете на 1 г ткани, изученные нуклеотиды печени и слизистой оболочки тонкой кишки

Таблица 2

Содержание уридилловых нуклеотидов в слизистой оболочке тонкой кишки (мкмоль на 1 г ткани) после облучения и введения перфторана и оротовой кислоты ($M \pm m$)

Серии опытов	УТФ	УДФ	УМФ
Контроль	0,044 ± 0,002 <i>n</i> = 10	0,037 ± 0,002 <i>n</i> = 10	0,052 ± 0,003 <i>n</i> = 10
Время после облучения			
1 ч	0,027 ± 0,002 ^x <i>n</i> = 8	0,028 ± 0,002 ^x <i>n</i> = 8	0,097 ± 0,007 <i>n</i> = 8
1 сут	0,015 ± 0,002 ^x <i>n</i> = 7	0,027 ± 0,002 ^x <i>n</i> = 7	0,116 ± 0,015 ^x <i>n</i> = 7
3 сут	0,018 ± 0,001 <i>n</i> = 6	0,024 ± 0,002 <i>n</i> = 6	0,105 ± 0,010 ^x <i>n</i> = 7
7 сут	0,024 ± 0,002 ^x <i>n</i> = 7	0,030 ± 0,003 <i>n</i> = 7	0,125 ± 0,021 ^x <i>n</i> = 7
Облучение 7 сут + перфторан и оротовая кислота	0,032 ± 0,003 <i>n</i> = 7	0,034 ± 0,003 <i>n</i> = 7	0,071 ± 0,005 ^{xx} <i>n</i> = 8

распределяются следующим образом: УМФ > УТФ > УДФ. Так, в частности, удельное содержание УТФ составляет в печени примерно 50 % от того же показателя для УМФ; в слизистой тонкой кишки – 54 %.

В результате радиационного воздействия наблюдались существенные изменения в содержании всех форм уридилонуклеотидов в исследуемых тканях. Как следует из полученных данных, через 1 ч после облучения отмечается некоторая, хотя и статистически незначимая, тенденция к снижению уровня УТФ в печени, который составил 81 % от контроля (табл. 1). Изменения других нуклеотидов в этот период не существенны – наблюдались лишь недостоверные тенденции к снижению количества УДФ и повышению УМФ.

Через 1 сут после облучения в печени животных наблюдается значимое снижение содержания УДФ до 88 % и УМФ до 73 % соответственно по отношению к показателям контроля. Спустя 3 сут после воздействия радиации на фоне дальнейшего снижения УТФ и продолжающейся монотонной тенденции к снижению уровня УДФ, наблюдается резкое повышение содержания УМФ, которое составило в этот период около 158 % по сравнению с контролем. На 7-е сут после облучения содержание УМФ еще больше нарастает, составляя примерно 197 % от контроля. Указанные изменения для УМФ отличались статистической значимостью и отражали очевидную тенденцию к повышению в зависимости от срока после радиационного воздействия. В отличие от этого, уровень УДФ и особенно УТФ в условиях радиационного воздействия существенно снижается. В частности, содержание УТФ в печени спустя 7 сут после облучения значимо уменьшается и составляет лишь 52 % от контрольных значений.

Вероятно, снижение показателей УДФ и особенно, УТФ в тканях облученного организма может заметно отразиться на биосинтезе гликогена, на взаимопревращениях различных сахаров, где эти нуклеотиды принимают непосредственное участие [2].

В группе животных, получавших лечение, отмечается заметная тенденция к стабилизации содержания уридилонуклеотидов, что приближает их к данным контрольной группы крыс. После введения оротовой кислоты и перфторана в печени облученных крыс существенно уменьшается содержание УМФ, приближаясь к показателям контроля. Уровень УТФ в печени облученных животных, получавших лечение, повышается примерно на 27 % по сравнению с группой крыс, не получавших указанные препараты (табл. 1).

Как уже указывалось, радиочувствительная ткань слизистой оболочки тонкой кишки отличается, судя по всему, сравнительно меньшим содержанием отдельных форм уридилонуклеотидов в сравнении с печенью (табл. 1 и 2). Воздействие радиации приводит к существенным и закономерным изменениям содержания нуклеотидов в слизистой оболочке тонкой кишки подопытных животных (табл. 2), причем, по всей видимости, более выраженным, чем в печени.

Так, в частности, через 1 ч после облучения в слизистой оболочке тонкой кишки происходит значимое снижение уровня УДФ и УТФ, составляя около 76 % и

61 % соответственно от контроля. Удельное содержание УМФ в этот период характеризуется резкой тенденцией к повышению и составляет около 187 % от контроля (табл. 2). В последующие сроки после радиационного воздействия содержание УМФ продолжает увеличиваться (причем все изменения статистически значимы), и спустя 7 сут превышает показатели контрольной группы животных более чем в два раза.

Закономерными в отношении показателей УТФ и УДФ слизистой оболочки тонкой кишки и в последующие сроки наблюдений является отчетливая тенденция к снижению их содержания после радиационного воздействия, а для УМФ, как было видно выше, напротив, – значимое повышение уровня для большинства сроков исследования. Причем эти изменения содержания нуклеотидов наиболее ярко проявляются спустя 7 сут после радиационного воздействия, а сами нарушения в некоторых случаях отчетливее выражены, если сравнить данные в табл. 1 и 2, в более радиочувствительной ткани слизистой оболочки тонкой кишки, чем в печени.

Анализ результатов исследования применения оротовой кислоты и перфторана показал, что в группе животных, получавших лечение, отмечается тенденция к стабилизации содержания УТФ и УДФ в слизистой оболочке тонкой кишки, приближая их к данным контроля, в то время как для уровня УМФ нормализация показателя отличалась статистической значимостью (табл. 2). Все это свидетельствует, по-видимому, о благоприятном эффекте применения данных препаратов.

При сравнительной оценке уридилонуклеотидного фонда печени и слизистой оболочки тонкой кишки облученных животных, наблюдаются как разнонаправленные, так и однотипные изменения. Общей закономерностью для обоих органов является прогрессирующее снижение содержания макроэргических полифосфатов УДФ и особенно УТФ, а также одновременное увеличение содержания УМФ, наиболее резко выраженное к исходу 7-х сут после воздействия радиации. Следовательно, преимущественная тенденция при этом состоит в том, что исследуемые ткани находятся в условиях острого дефицита макроэргических нуклеозидполифосфатов, особенно УТФ.

Изменения в содержании уридилонуклеотидов слизистой оболочки тонкой кишки облученных животных, на наш взгляд, несколько более выражены, по сравнению с печенью. Следовательно, по критерию уровня уридилонуклеотидов, судя по всему, подтверждается факт большей радиочувствительности, а также, по-видимому, ранимости и уязвимости метаболических процессов в ткани слизистой оболочки тонкой кишки крыс в результате радиационного воздействия.

Для выяснения некоторых молекулярных механизмов изменений содержания уридилонуклеотидов была исследована активность ключевого фермента основного пути их синтеза (синтеза *de novo*) – АКТ. Этот фермент является основным регуляторным ферментом не только основного пути синтеза УМФ и других уридилонуклеотидов, но и биосинтеза всех

нуклеотидов пиримидиновой группы, в том числе цитидиловых и тимидиловых нуклеотидов. Фермент находится под метаболическим контролем, основанном на принципе отрицательной обратной связи. Так, УТФ и ЦТФ являются аллостерическими ингибиторами АКТ, а АТФ существенно повышает ферментативную активность [1]. Результаты исследований активности АКТ в тканях облученных крыс представлены в табл. 3.

Из приведенных результатов следует, что уже в ранние сроки после воздействия радиации (через 1 ч и 1 сут) в исследуемых тканях наблюдается, по крайней мере, монотонная тенденция к снижению активности АКТ, причем эти изменения более выражены в радиочувствительной ткани – слизистой оболочке тонкой кишки. Так, активность фермента через 1 ч после радиационного воздействия в слизистой оболочке тонкой кишки составляет около 36 % от контрольного показателя, хотя изменения и статистически незначимы. К концу первых сут отмечается тенденция к некоторому повышению активности фермента по сравнению с предыдущим сроком исследования, составляя примерно 60 % от уровня контроля (табл. 3).

Спустя 3 сут после облучения отмечается вторая волна снижения активности АКТ в исследуемых тканях. В слизистой оболочке тонкой кишки в этот период активность фермента составила около 43 % от показателей контроля. Это изменение не было статистически значимым, но соответствующая тенденция выражена весьма отчетливо (табл. 3).

Следовательно, характерными для ферментативной активности печени и слизистой оболочки тонкой кишки облученных животных в первые часы являются, по-видимому, фазовые изменения, выражающиеся в некотором подавлении активности АКТ, сменяющиеся фазой относительного повышения к исходу 1 сут; далее наблюдается вторая волна снижения ферментативной активности. Так, через 7 сут после радиационного воздействия активность АКТ претерпевает наиболее резкие изменения и значительно снижается в печени до 55 % от контроля, а в слизистой оболочке тонкой кишки составляет только лишь 27 % от контрольных значений (см. табл. 3). Последнее изменение незначимо, но его величина также позволяет говорить о весьма выраженной тенденции к подавлению активности фермента.

Таким образом, угнетение активности АКТ после облучения обуславливает, вероятно, снижение синтеза пиримидиновых нуклеотидов, а, следовательно, и количества УТФ, являющегося предшественником ЦТФ и других цитидиловых нуклеотидов.

В то же время, высокое содержание УМФ, наиболее выраженное через 7 сут после облучения, т.е. в тот период, когда количество нуклеозидполифосфатов и, особенно, УТФ, минимальное, свидетельствует в пользу усиления реакций катаболизма уридилловых нуклеозидполифосфатов в тканях облученных животных.

Ранее проведенные исследования системы ферментов нуклеозидфосфатаз, катализирующих распад УТФ, УДФ и УМФ, показали, что характерной особенностью динамики пострадиационных изменений их актив-

Таблица 3

Активность аспартаткарбамоилтрансферазы в печени и слизистой оболочке тонкой кишки крыс (мкмоль P_i на 1 г ткани)* после облучения и введения перфторана и оротовой кислоты ($M \pm t$)

Серии опытов	Печень	Слизистая оболочка тонкой кишки
Контроль	$11,24 \pm 1,07$ $n = 10$	$3,92 \pm 0,14$ $n = 10$
Время после облучения		
1 ч	$10,18 \pm 0,62$ $n = 8$	$1,41 \pm 0,09$ $n = 7$
1 сут	$12,33 \pm 1,47$ $n = 7$	$2,35 \pm 0,12^x$ $n = 7$
3 сут	$8,06 \pm 1,02^x$ $n = 7$	$1,68 \pm 0,05$ $n = 8$
7 сут	$6,19 \pm 0,43^x$ $n = 7$	$1,04 \pm 0,02$ $n = 8$
Облучение 7 сут + перфторан и оротовая кислота	$9,81 \pm 1,06^{xx}$ $n = 7$	$2,86 \pm 0,17^{xx}$ $n = 7$

Примечание: * P_i – неорганический фосфат

ности являются разное время появления и различная направленность в зависимости от сроков, прошедших после радиационного воздействия, биокатализатора и исследуемой ткани. В частности, было установлено, что в субклеточных фракциях слизистой оболочки тонкой кишки и печени под влиянием облучения происходят фазные изменения активности ферментов, катализирующих дефосфорилирование УМФ, УДФ и УТФ (пиримидин-5¹-нуклеотидазы, нуклеозиддифосфатазы и нуклеозидтрифосфатазы). Преимущественная тенденция наблюдающихся изменений заключалась в прогрессирующем усилении процессов ферментативного дефосфорилирования уридилловых нуклеотидов, особенно УТФ [10, 14].

Обнаруженный пострадиационный дефицит УТФ, являющегося в реакциях непосредственным предшественником ЦТФ и других цитидиловых нуклеотидов, на наш взгляд, занимает одно из ведущих мест при оценке изменений содержания всей группы пиримидиновых нуклеотидов.

Как показали результаты проведенных исследований, сочетанное введение оротовой кислоты и перфторана способствует ослаблению действия ионизирующей радиации на процессы обмена уридилловых нуклеотидов в исследуемых тканях. По всей видимости, это связано с усилением синтеза уридилловых нуклеотидов под действием оротовой кислоты в первую очередь. Так, в частности, в тканях облученных крыс (7-е сут), которым вводили перфторан и оротовую кислоту (табл. 3), отмечается повышение активности АКТ по сравнению с животными, которым препараты не вводились, составляя от уровня контроля около 87 % (печень) и 73 % (слизистая оболочка тонкой кишки).

Таким образом, подводя итоги проведенных исследований, можно констатировать, что введение оротовой кислоты и перфторана снижает тяжесть течения раннего периода лучевого поражения, способствует относительной нормализации содержания уридилловых нуклеотидов и активности АКТ в печени и сли-

слизистой оболочке тонкой кишки экспериментальных животных.

Корригирующее влияние оротовой кислоты и перфторана на метаболизм уридиловых нуклеотидов и нивелирование ими ряда негативных эффектов радиации дает предпосылки для разработки на основе оротовой кислоты и перфторана возможного препарата, способного войти в комплекс лечебных мероприятий в клинике острой лучевой болезни средней тяжести.

Выводы

1. Воздействие ионизирующей радиации приводит к снижению удельного содержания уридиловых макроэргических полифосфатов, особенно УТФ.

2. Изменения активности АКТ в исследуемых тканях облученных животных в целом реципрокны вариациям нуклеотидов в аналогичных условиях.

3. Изменения содержания нуклеотидов и активности АКТ в слизистой оболочке тонкой кишки несколько более выражены по сравнению с тканью печени.

4. Сочетанное введение оротовой кислоты и перфторана способствует относительной нормализации содержания уридиловых нуклеотидов и активности ключевого фермента их синтеза – АКТ в тканях печени и слизистой оболочки тонкой кишки облученных животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ленинджер А. Основы биохимии: В 3-х т. Т. 2. – М.: Мир. 1985. 655 с.
2. Anderson M., Levan L., Stenram U. Compartmentation of purine and pyrimidine nucleotides in animal cells // *Int. J. Biochem.* 1988. Vol. 20. № 10. P. 1039–1050.
3. Кашеенко Н.Н. О биохимическом механизме противолучевого действия адениловых соединений // *Научные доклады высшей школы. Биологические науки.* 1982. № 2. С. 5–18.
4. Нагиев Э.Р., Литовченко И.Н., Савицкий И.В. Изменения содержания пиримидиновых нуклеозидфосфатов в печени облученных крыс // *Укр. биохим. журн.* 1989. Т. 61. № 1. С. 89–91.
5. Нагиев Э.Р. Пиримидиновый нуклеотидный фонд при действии облучения и физической нагрузки и пути его коррекции // *Мед. радиол. и радиац. безопасность.* 1996. Т. 41. № 3. С. 39–41.
6. Гребенюк А.Н., Зацепин В.В., Назаров В.Б., Власенко Т.Н. Современные возможности медикаментозной профилактики и ранней терапии радиационных поражений // *Воен.-мед. журн.* 2011. Т. 332. № 2. С. 13–17.
7. Иваницкий Г.Р. Биофизика на пороге нового тысячелетия: перфторуглеродные среды и газотранспортные кровезаместители // *Биофизика.* 2001. Т. 46. № 1. С. 5–33.
8. Исмаилова Ф.Э. Содержание нуклеотидов аденина и урацила в печени крыс и его коррекция перфтораном при сочетанном воздействии γ -излучения и газового конденсата // *Дис. канд. мед. наук.* – Краснодар: Кубанский государственный медицинский университет, 2011. 145 с.
9. Нагиев Э.Р. Роль критических систем в определении устойчивости организма к воздействию экстремальных факторов внешней среды. – Махачкала: ИПЦ Дагестанской государственной медицинской академии, 2006. 184 с.
10. Нагиев Э.Р. Фармакологическая коррекция метаболизма пиримидиновых нуклеотидов при лучевой болезни. Автореф. дис. докт. мед. наук. – Одесса: Одесский государственный медицинский университет. 1996. 41 с.
11. Киреев М.М., Конвай В.Д. Полумикрометод определения кислотозкстрагируемых нуклеотидов в органах мелких лабораторных животных // *Вопр. мед. химии.* 1979. Т. 25. № 3. С. 352–354.
12. Кусень С.И., Пашковская И.С., Свистун Ю.Д. Активность аспартаткарбамоилтрансферазы, аланин- и аспартатамино-трансфераз в зародышах вьюна при инкубации в растворах биоорганических соединений // *Укр. биохим. журн.* 1975. Т. 47. № 3. С. 347–351.
13. Кокунин В.А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов // *Укр. биохим. журн.* 1975. Т. 47. № 6. С. 776–790.
14. Нагиев Э.Р., Литовченко И.Н. Исследование катаболизма пиримидиновых нуклеотидов в печени облученных животных // *Радиобиология.* 1988. Т. 28. № 2. С. 209–213.

DOI 10.12737/article_59f2ef130f5421.00591025

Study of Uridylic Nucleotides Contents and the Investigation Aspartate Carbamoyltransferase in Liver and Small Intestine Mucosa Exposed when Administered to Rats Orotic Acid and Perftoran

E.R. Nagiev, S.E. Nagieva, F.E. Ismailova

Dagestan State Medical University, Makhachka, Russia. E-mail: nagiev53@mail.ru

E.R. Nagiev – Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Honored Worker of the Higher School of Russian Federation, Prof., Dr. Sc. Med., Head of the Department of General and Biological Chemistry, Dagestan State Medical University;
S.E. Nagieva – PhD Med., Assoc. Prof.; F.E. Ismailova – PhD Med., Assistant

Abstract

Purpose: Study of uridylic nucleotides content and aspartate carbamoyltransferase which was a key enzyme on the pathway for the synthesis of pyrimidine nucleotides in tissues of irradiated animals upon administration of orotic acid and perftorane was conducted.

Material and methods: Studies were performed on random-bred albino rats subjected to a single γ -ray exposure at a total dose of 6 Gy. Orotic acid was injected as potassium salt in a dose of 60 mg / kg, perftoran salt in a dose of 1 ml / 100 g water.

Results: A decrease in the content of UTP and UDP, as well as an increase in UMP after irradiation, especially on the 7th day, was established. The most pronounced changes in the studied biochemical parameters take place in the mucosa of the small intestine. The administration of orotic acid and perftorane to irradiated animals contributes to a significant correction of both the nucleotide content and the activity of aspartate carbamoyltransferase.

Conclusion: The radiation leads to some decrease in the content of UDP and UTP. Changes in the content of nucleotides and activity of aspartate carbamoyltransferase in the mucosa of the small intestine are more pronounced in comparison with liver tissue. The combined administration of orotic acid and perftorane promotes the normalization of the content of nucleotides, and the activity of aspartate carbamoyltransferase in the liver and mucous membrane of the small intestine of irradiated animals.

Key words: uridylic nucleotides, aspartate carbamoyltransferase, irradiation, orotic acid, perftoran, liver, small intestine, mucosa

REFERENCES

1. Lenindzher A. Osnovy biokhimii: V 3-kh t. Vol. 2. – M.: Mir. 1985. 655 pp.
2. Anderson M., Levan L., Stenram U. Compartmentation of purine and pyrimidine nucleotides in animal cells // Int. J. Biochem. 1988. Vol. 20. № 10. P. 1039–1050.
3. Kashcheyenko N.N. O biokhimicheskom mekhanizme protivoluchevogo deystviya adenilovykh soyedineniy // Nauchnyye doklady vysshey shkoly. Biologicheskiye nauki. 1982. № 2. P. 5–18.
4. Nagiyev E.R., Litovchenko I.N., Savitskiy I.V. Izmeneniya sodержaniya pirimidinovykh nukleozidfosfatov v pecheni obluchennykh kryss // Ukr. biokhim. zhurn. 1989. Vol. 61. № 1. P. 89–91.
5. Nagiyev E.R. Pirimidinovykh nukleotidnyy fond pri deystvii oblucheniya i fizicheskoy nagruzki. i puti ego korrektsii // Med. radiol. i radiats. bezopasnost. 1996. Vol. 41. № 3. P. 39–41.
6. Grebenyuk A.N., Zatselin V.V., Nazarov V.B., Vlasenko T.N. Sovremennyye vozmozhnosti medikamentoznoy profilaktiki i ranney terapii radiatsionnykh porazheniy // Voen.-med. zhurn. 2011. Vol. 332. № 2. P. 13–17.
7. Ivanitskiy G.R. Biofizika na poroge novogo tysyacheletiya: perftoruglerodnyye sredi i gazotransportnyye krovezameniteli // Biofizika. 2001. Vol. 46. № 1. P. 5–33.
8. Ismailova F.E. Soderzhaniye nukleotidov adenina i uratsila v pecheni kryss i ego korrektsiya perftoranom pri sochetannom vozdeystvii γ -izlucheniya i gazovogo kondensata // Dis. kand. med. nauk. – Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet. 2011. 145 pp.
9. Nagiyev E.R. Rol kriticheskikh sistem v opredelenii ustoychivosti organizma k vozdeystviyu ekstremalnykh faktorov vneshney sredi. – Makhachkala: IPTs Dagestanskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii. 2006. 184 pp.
10. Nagiyev E.R. Farmakologicheskaya korrektsiya metabolizma pirimidinovykh nukleotidov pri luchevoj bolezni. Avtoref. dis. dokt. med. nauk. – Odessa: Odesskiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet. 1996. 41 pp.
11. Kireyev M.M., Konvay V.D. Polimikrometod opredeleniya kislotoekstragiruyemykh nukleotidov v organakh melkikh laboratornykh zhivotnykh // Vopr. med. khimii. 1979. Vol. 25. № 3. P. 352–354.
12. Kusen S.I., Pashkovskaya I.S., Svistun Yu.D. Aktivnost aspartatkarbamoyltransferazy. alanin- i aspartataminotransferaz v zarodyshakh vyuna pri inkubatsii v rastvorakh bioorganicheskikh soyedineniy // Ukr. biokhim. zhurn. 1975. Vol. 47. № 3. P. 347–351.
13. Kokunin V.A. Statisticheskaya obrabotka dannykh pri malom chisle opytov // Ukr. biokhim. zhurn. 1975. Vol. 47. № 6. P. 776–790.
14. Nagiyev E.R., Litovchenko I.N. Issledovaniye katabolizma pirimidinovykh nukleotidov v pecheni obluchennykh zhivotnykh // Radiobiologiya. 1988. Vol. 28. № 2. P. 209–213.

DOI 10.12737/article_59f2f1e5d45cc5.39553012

**А.М. Скоробогатов¹, М.Г. Герменчук², А.В. Симонов¹, О.М. Жукова², О.Н. Апанасюк¹,
Ю.Н. Голиков², Т.А. Буланцева¹, Л.Ю. Лупач¹**

ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ГРАНИЦ ЗОН РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ КРУПНЫХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ. СООБЩЕНИЕ I. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОПЫТА ЗОНИРОВАНИЯ ПРИ АВАРИИ НА ЧАЭС

1. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия.
E-mail: sam@ibrae.ac.ru. 2. Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, Минск, Белоруссия

А.М. Скоробогатов – н.с.; М.Г. Герменчук – к.т.н., первый зам. нач., эксперт МАГАТЭ; А.В. Симонов – к.псих.н., зав. отделом; О.М. Жукова – к.т.н., нач. отдела, эксперт МАГАТЭ; О.Н. Апанасюк – с.н.с.; Ю.Н. Голиков – нач. отдела; Т.А. Буланцева – инженер; Л.Ю. Лупач – м.н.с.

Реферат

Цель: Ретроспективный анализ процесса формирования зон радиоактивного загрязнения вследствие Чернобыльской катастрофы.

Результаты: Представлено краткое изложение хронологии событий ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в контексте установления зон радиоактивного загрязнения. Опыт зонирования территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, за период 1986–2015 гг. в Белоруссии и Российской Федерации выявил следующее:

- зоны радиоактивного загрязнения вследствие аварии на ЧАЭС были в окончательном виде сформированы нормативно-правовыми актами только к 1991 г. – через пять лет после Чернобыльской катастрофы;
- в настоящее время юридически зоны радиоактивного загрязнения соответствуют границам населенных пунктов, которым присвоен определенный статус территории радиоактивного загрязнения.

Это приводит, в частности, к парадоксальному «автоматическому» сокращению зон радиоактивного загрязнения из-за процессов упразднения населенных пунктов вследствие отсутствия в них жителей. Отсутствие установленных границ зон радиоактивного загрязнения создает сложности по обоснованию мероприятий, направленных на проведение радиационного мониторинга, реабилитацию радиоактивно загрязненных земель и возвращения их в хозяйственный оборот.

Выводы: Опыт преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС показывает, что отсутствие своевременных и научно-обоснованных процедур установления границ зон радиоактивного загрязнения приводит не только к неадекватной оценке масштабов последствий, но и не позволяет эффективно дифференцировать состав, объемы необходимых мер по защите населения.

Ключевые слова: радиационные аварии, зоны радиоактивного загрязнения, доза облучения, плотность радиоактивного загрязнения, авария на Чернобыльской АЭС, анализ опыта зонирования

Поступила: 30.09.2016. Принята к печати: 21.09.2017

Введение

При принятии управленческих решений по организации и применению эффективных защитных мер в условиях масштабных аварий и катастроф принципиально важное значение имеет классификация (зонирование) территорий по уровням воздействия на окружающую среду и население неблагоприятных факторов, включая радиационное воздействие.

Особое значение это имеет в случае крупных радиационных аварий, приводящих к долговременному радиоактивному загрязнению объектов окружающей среды. По своему содержанию процедуры зонирования представляют собой ранжирование территорий по уровням и степени воздействия на окружающую среду и человека неблагоприятных факторов аварийной ситуации (внешнее и внутреннее облучение, радиоактивное загрязнение окружающей среды, изменение условий проживания человека, повышение издержек при производстве продукции, связанных как с радиационным контролем, так и с использованием специальных технологий и т. п.).

Целью зонирования является обеспечение соответствия (необходимости и достаточности) принимаемых оперативных, среднесрочных, долгосрочных противоаварийных и реабилитационных мероприятий по обеспечению жизни и здоровья населения территорий, подвергшихся воздействию негативных факторов.

Важность и необходимость оперативного и точного выполнения работ по зонированию в случае радиационных аварий подчеркивается опытом преодоления

последствий Чернобыльской катастрофы и аварии на АЭС Фукусима.

Проблематике, связанной с различными аспектами зонирования территорий в случае радиационных аварий, в научной периодике уделяется достаточно серьезное внимание. По данным электронной научной библиотеки eLibrary.ru, за период с 1999 по I квартал 2017 гг. в российских журналах было опубликовано более 17 тыс. работ, посвященных данной тематике. Вместе с тем, непосредственно вопросам зонирования радиоактивно загрязненных территорий посвящено менее 1 % (129 публикаций) из указанного числа работ. Следует также заметить, в большинстве публикаций при определении и классификации зон радиоактивного загрязнения авторы придерживаются, как правило, «санитарно-эпидемиологического» подхода, в основе которого лежат только дозовые критерии (по средней годовой эффективной дозе) облучения жителей населенных пунктов (см., например, [1, 2]). При таком одностороннем подходе не учитывается весь комплекс неблагоприятных факторов, обусловленный радиоактивным загрязнением территории, включая экологические, социально-психологические, экономические и, как следствие, демографические факторы. Использование при процедурах зонирования только доз облучения жителей населенных пунктов не решает, например, вопросы изъятия земель из хозяйственного обращения по радиационному фактору и их последующего возврата в оборот, оценки ущерба, оптимизации

(локализации) защитных и реабилитационных мер в условиях масштабного радиоактивного загрязнения.

К сожалению, опыт преодоления последствий Чернобыльской аварии в СССР, а затем независимо в Белоруссии и Российской Федерации, не привел в конечном итоге к формированию практических и методических способов установления границ зон радиоактивного загрязнения (или «зон аварийного планирования» [3]).

Результаты

В самом начале организации работ по ликвидации и минимизации последствий аварии на Чернобыльской АЭС органы государственной власти СССР столкнулись с необходимостью применения широкого круга мероприятий, связанных как с радиационной защитой, так и с обеспечением радиационной безопасности населения. Вместе с тем, оптимизация и эффективное применение указанных мер осложнялись отсутствием нормативно-правовой базы, критериев и методов, обеспечивающих зонирование радиоактивно загрязненных территорий.

2 мая 1986 г. Правительственной комиссией по расследованию причин аварии на Чернобыльской АЭС было принято решение об эвакуации населения из прилегающей к Чернобыльской АЭС «циркульной» 10-км и, чуть позднее, 30-км зоны [4]. До 7 мая 1986 г. было эвакуировано свыше 99 тыс. человек из 113 населенных пунктов, в том числе около 11 тыс. человек (51 населенный пункт) граждан Белоруссии [5].

Основным мотивом для принятия этого решения являлся риск повторного взрыва в связи с возможностью разрушения днища корпуса реактора и попадания в подреакторные помещения расплавленной массы, включая радиоактивное топливо.

В связи с необходимостью организации работ по ликвидации последствий аварии постановлением ЦК КПСС, Президиума ВС СССР, Совмина СССР, ВЦПС от 07 мая 1986 г. [6] было введено понятие «зоны Чернобыльской АЭС» без установления определенных ее границ и характеристик.

В целях дифференциации состава и объемов работ по ликвидации последствий аварии, выполняемых на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, постановлением ЦК КПСС, Совмина СССР от 29 мая 1986 г. [7] были введены следующие зоны:

- зона временного выселения – территория, где по состоянию на 10 мая 1986 г. была зарегистрирована мощность дозы в диапазоне от 5–20 мР/ч, и на которую предполагалось вернуть жителей по мере нормализации радиационной обстановки;
- зона жесткого контроля – территория, где по состоянию на 10 мая 1986 г. была зарегистрирована мощность дозы в диапазоне от 3–5 мР/ч и средняя плотность загрязнения долгоживущими биологически значимыми нуклидами цезием-137, стронцием-90, плутонием-239,240 превышала соответственно 15, 3 и 0,1 Ки/км². В зоне жесткого контроля проводился организованный вывоз детей и беременных женщин в «чистые» районы СССР на летний период (до 1 сентября 1986 г.);

– зона отчуждения – территория, где по состоянию на 10 мая 1986 г. (и позже) была зарегистрирована мощность дозы свыше 20 мР/ч, и с которой население эвакуировалось на неограниченный срок. В соответствии с критерием по мощности экспозиционной дозы были отселены в Украинской ССР с 10 по 31 мая, а также дополнительно с 10 по 16 июня 1986 г. 12 населенных пунктов, и в Белорусской ССР с 3 по 10 июня 1986 г. – 28 населенных пунктов, расположенных за пределами 30-километровой зоны вокруг Чернобыльской АЭС.

К 20 июня 1986 г. была установлена зона отчуждения в виде перечня, включающего 29 населенных пунктов Украинской ССР и 20 населенных пунктов Белорусской ССР [8].

В связи с уточнением данных о радиоактивном загрязнении местности и дозах облучения на заседании оперативной группы Политбюро ЦК КПСС по вопросам, связанным с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, 14 августа 1986 г. были приняты следующие решения [9]:

1. Поскольку постоянное проживание людей без ущерба для здоровья в районах, где уровень радиации составлял от 5 до 20 мР/ч (зона временного проживания), будет возможно лишь через несколько лет, обеспечить жителей 68 населенных пунктов, откуда эвакуировано 10,9 тыс. семей (32,8 тыс. человек), постоянным жильем в местах, безопасных для проживания, и трудоустройством.
2. Провести эвакуацию жителей 34 населенных пунктов (в дополнение к уже проведенной, включая 29 населенных пунктов Белорусской ССР, 1 – Украинской ССР и 4 – РСФСР).
3. Ввести ограничения на потребление продуктов питания местного происхождения и установить особый контроль за обеспечением населения продовольствием для 257 населенных пунктов (155 тыс. человек), в том числе в РСФСР – 126 населенных пунктов, в Белорусской ССР – 117 и в Украинской ССР – 14 населенных пунктов.

Таким образом, на заседании оперативной группы Политбюро ЦК КПСС по вопросам, связанным с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, была фактически упразднена зона временного проживания, поскольку все населенные пункты этой зоны были переведены в зону отчуждения, а отселенные жители по мерам социальной защиты (возмещение материального ущерба, трудоустройство, обеспечение жильем и т. д.) приравнивались к населению, эвакуированному из зоны отчуждения.

По предложениям указанной оперативной группы Политбюро ЦК КПСС были подготовлены проекты постановлений, которые вступили в действие 22 августа 1986 г. [9, 10]. На основании принятых постановлений на территории Российской Федерации была выделена зона отчуждения, определенная территорией в границах населенных пунктов Нижняя Мельница, Прогресс, Князевщина и Барсуки Красногорского района Брянской области, и принято решение об эвакуации 186 человек (78 семей) в течение августа–сентября 1986 г. [9].

Одним из принятых в то время постановлений [11] впервые с момента аварии на Чернобыльской АЭС был установлен перечень населенных пунктов, в которых вводился режим ограничения потребления сельскохозяйственной продукции местного производства (эквивалент понятия «зона жесткого контроля») и устанавливались определенные меры социальной защиты, например, такие как выплата ежемесячных денежных пособий в размере 15 и 30 рублей в месяц на человека. Данный перечень населенных пунктов (приложение к постановлению Совета Министров СССР № 1006-286) состоял из 126 населенных пунктов Брянской области (на тот момент – Новозыбковского, Гордеевского, Клинцовского и Красногорского районов) и представлял собой неупорядоченный список наименований пунктов, сгруппированный по районам Брянской области.

В течение 1986–1990 гг. органами государственной власти СССР и РСФСР был принят ряд распоряжений, результатом которых было расширение перечня населенных пунктов, утвержденного постановлением Совета Министров СССР № 1006-286. В 1990 г. постановлением Совета Министров РСФСР [12] были определены 5 уровней радиоактивного загрязнения территорий: 1–5, 5–10, 10–15, 15–30, от 30 Ки/км² и выше, относительно которых устанавливалась дифференцированная оплата труда по повышенным тарифным ставкам. Аналогичные распоряжения реализовывались на территориях Белоруссии и Украины.

Это создавало существенную нагрузку на бюджет СССР, например, только в Российской Федерации в соответствии с расчетами к постановлению Совета Министров РСФСР от 06 августа 1990 г. № 280 примерно 1,8 млн человек осуществлялись следующие ежемесячные дополнительные выплаты (см. табл. 1) [12].

Государственной программой по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы на территории РСФСР на 1990–1995 гг. предусматривалось переселение жителей населенных пунктов, расположенных на территории с плотностью загрязнения свыше 15 Ки/км² [13].

Таким образом, только спустя 5 лет с момента аварии на Чернобыльской АЭС были концептуально сформулированы принципы и критерии обоснования практических мер (далее – Концепция), направленных на максимальное уменьшение возможных отрицательных последствий аварии на Чернобыльской АЭС для здоровья населения и на компенсацию нанесенного вреда [14]. Согласно Концепции, устанавливался единый критерий для принятия решений – среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения (доза облучения). Предполагалось, что при уровне дополнительного превышения дозы облучения в 1 мЗв в год и ниже условия проживания, трудовая деятельность не требуют каких-либо ограничений, при дозе облучения свыше 1 и до 5 мЗв в год осуществляются необходимые контрмеры. При дозах облучения свыше 5 мЗв в год декларировалась необходимость обязательного завершения отселения. Кабинет Министров СССР объявлял до 1 июля 1991 г. союзные и республиканские

Таблица 1

**Ежемесячные дополнительные выплаты
Российской Федерации в соответствии с расчетами
к постановлению Совета Министров РСФСР
от 06 августа 1990 г. № 280**

Уровень загрязнения почвы цезием-137, Ки/км ²	Выплаты гражданам		
	Процент от основного заработка	Численность граждан, полу- чающих льго- ты, тыс. чел.	Сумма ежеме- сячных выплат, млн рублей
1–5	20	1 115,2	486,7
Свыше 5 до 10	30	410,8	249,9
Свыше 10 до 15	50	202,0	187,6
Свыше 15 до 30	75	68,4	105,7
Свыше 30	100	20,9	41,1
Всего по РСФСР		1 817,3	1 071,0

органы исполнительной власти уточнить перечни населенных пунктов, в которых дополнительные дозы облучения людей за счет радиоактивного загрязнения территории в результате аварии на Чернобыльской АЭС превышают 1 и 5 мЗв/год соответственно [14].

После одобрения Концепции проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, 12 мая 1991 г. Верховным Советом СССР принимается Закон СССР «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы» (далее – союзный Закон) [15], в котором радиоактивно загрязненные территории были подразделены на 4 зоны:

- зона отчуждения;
- зона отселения (плотность радиоактивного загрязнения цезием-137 выше 15 Ки/км² или стронцием-90 выше 3 Ки/км² или плутонием-239, 240 – выше 0,1 Ки/км²);
- зона проживания с проведением защитных мероприятий, направленных на снижение облучения населения, и с правом граждан на получение компенсаций при их добровольном отселении из этой зоны (в дальнейшем именуется – зона проживания с правом на отселение) – (плотность радиоактивного загрязнения цезием-137 от 5 до 15 Ки/км²);
- зона проживания с льготным социально-экономическим статусом (плотность радиоактивного загрязнения цезием-137 от 1 до 5 Ки/км²).

В союзном Законе, в отличие от Концепции, основными критериями определения зон радиоактивного загрязнения, кроме зоны отчуждения, стали значения плотности радиоактивного загрязнения цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239, 240, а значения доз облучения являлись одним из условий к требованиям обязательного или возможности добровольного отселения/переселения.

Российская Федерация

В применении к территориям и гражданам Российской Федерации 15 мая 1991 г. Верховным Советом РСФСР принимается аналогичный законодательный акт [16] (далее – Закон РФ), в котором статьи 7–11, определяющие критерии зон радиоактивного загрязнения, почти дословно перенесены из союзного Закона (ст. 6–10).

В первоначальной редакции Закона было регламентировано (статья 7), что границы зон радиоактивного загрязнения и перечень населенных пунктов, находящихся в них, устанавливаются в зависимости от изменения радиационной обстановки и с учетом других факторов и пересматриваются не реже, чем раз в три года (с 1995 г. как в Законе Российской Федерации, так и в соответствующем Законе Республики Беларусь – не реже, чем раз в пять лет).

В целом при реализации статьи 7 Закона Правительством Российской Федерации принято 8 нормативно-правовых актов [11–18], касающихся только вопросов утверждения или изменения перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (табл. 2, 3).

До 1997 г. наблюдалось увеличение количества населенных пунктов, которым был присвоен статус зоны радиоактивного загрязнения [17–22]. В 1997 г. перечень населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения, был существенно сокращен (почти 2 раза). В 2005 г. перечень населенных пунктов был расширен на 126 населенных пунктов [23]. А в 2015 г. (через 10 лет) утвержден новый перечень населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, списочный состав которого за исключением упраздненных населенных пунктов соответствовал состоянию на 7 апреля 2005 г. [24]. В табл. 4 представлено распределение упраздненных населенных пунктов, уровни загрязнения цезием-137

территории которых соответствует критериям зон радиоактивного загрязнения, по состоянию на 1 января 2016 г.

Белоруссия

В Белоруссии 12 ноября 1991 г. Верховным Советом Республики Беларусь был принят Закон Республики Беларусь № 1227-ХІІ «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС».

В 2012 г. Палатой представителей Национального Собрания Республики Беларусь был принят переработанный Закон Республики Беларусь № 385-З от 26 мая 2012 г. «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» [25], статьей 4 которого для определения территории радиоактивного загрязнения установлены следующие критерии:

- величина средней годовой эффективной дозы облучения населения;
- плотность загрязнения почв радионуклидами;
- возможность производства продукции, содержание радионуклидов в которой не превышает республиканских допустимых уровней.

Для определения зон радиоактивного загрязнения используются следующие критерии:

- величина средней годовой эффективной дозы облучения населения;
- плотность загрязнения почв радионуклидами.

Статьей 6 на территории радиоактивного загрязнения в зависимости от плотности загрязнения почв

Таблица 2

Изменение по годам состава населенных пунктов, в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС

Субъект Российской Федерации	Зона ¹	Количество населенных пунктов в зонах радиоактивного загрязнения на год принятия правительственного нормативно-правового акта [11–18, 23]						
		1991	1992	1993	1995	1997	2005	2015
Брянская область	A	4	4	17	17	4	4	4
	B	144	272	266	266	194	202	26
	C	316	288	284	284	237	237	191
	D	782	803	826	826	539	535	528
Калужская область	C	134	134	134	134	68	68	14
	D	352	352	376	376	284	285	286
Орловская область	C	62	62	69	69	15	65	1
	D	1865	1865	1911	1977	885	899	842
Тульская область	C	310	310	311	311	122	122	27
	D	1737	1737	1742	1742	1184	1184	1190
Белгородская область	D	56	56	94	94	79	79	78
Воронежская область	D	36	36	104	104	79	79	74
Курская область	D	230	230	273	273	168	168	156
Ленинградская область	D	44	44	44	44	29	29	29
Липецкая область	D	146	146	159	159	75	75	69
Пензенская область	D	–	–	199	200	35	35	31
Рязанская область	D	644	644	723	723	320	320	285
Тамбовская область	D	22	22	29	29	6	6	6
Ульяновская область	D	–	–	39	39	5	5	5
Республика Мордовия	D	–	–	28	28	16	16	15
Итого по зонам радиоактивного загрязнения	A	4	4	17	17	4	4	4
	B	144	272	266	266	194	202	26
	C	822	794	798	798	442	492	233
	D	5914	5935	6547	6614	3704	3715	3594
Всего в зонах радиоактивного загрязнения		6884	7005	7628	7695	4344	4413	3857

Примечание: Статус зоны радиоактивного загрязнения : A – зона отчуждения; B – зона отселения; C – зона проживания с правом на отселение, D – зона проживания с льготным социально-экономическим статусом.

Таблица 3

Распределение населения, проживающего в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС*

Субъект Российской Федерации	Зона	Количество жителей, проживающих в населенных пунктах зон радиоактивного загрязнения на год принятия правительственного нормативно-правового акта [11–18, 23], тыс. человек						
		1991	1992	1993	1995	1997	2005	2015
Брянская область	A	–	–	–	–	–	–	–
	B	30,4	87,8	88,5	88,5	77,4	75,7	8,4
	C	156,5	150,1	149,5	149,5	134,8	120,1	158,7
	D	216,3	221,7	238,9	238,9	166,7	147,7	158,8
Калужская область	C	16,6	16,6	16,6	16,6	5,2	3,1	0,1
	D	86,2	86,2	88,4	88,4	88,3	79,3	77,5
Орловская область	C	16,4	16,4	16,6	16,6	0,5	14,7	0,0
	D	265,1	265,1	267,5	359,0	141,8	116,4	110,7
Тульская область	C	139,4	139,4	139,5	139,5	32,5	31,3	19,3
	D	797,5	797,5	797,6	797,6	719,9	636,9	600,3
Белгородская область	D	19,2	19,2	79,0	79,0	75,6	74,9	74,3
Воронежская область	D	12,0	12,0	40,4	40,4	32,8	28,2	27,6
Курская область	D	140,5	140,5	145,2	145,2	124,8	120,6	117,8
Ленинградская область	D	19,6	19,6	19,6	19,6	8,4	9,7	10,5
Липецкая область	D	38,5	38,5	71,5	71,5	35,6	33,8	32,6
Пензенская область	D	–	–	130,7	183,8	9,7	7,7	7,3
Рязанская область	D	181,7	181,7	199,3	199,3	122,5	98,6	91,8
Тамбовская область	D	3,6	3,6	16,6	16,6	8,0	7,3	6,7
Ульяновская область	D	–	–	58,0	58,0	2,8	2,6	2,3
Республика Мордовия	D	–	–	18,0	18,0	10,9	9,3	11,0
Итого по зонам радиоактивного загрязнения	A	–	–	–	–	–	–	–
	B	30,4	87,8	88,5	88,5	77,4	75,7	8,4
	C	328,9	322,5	322,2	322,2	173,0	169,2	178,1
	D	1780,2	1785,6	2170,7	2315,3	1547,8	1373,0	1329,2
Всего жителей в зонах радиоактивного загрязнения, тыс. чел.		2139,5	2195,9	2581,4	2726,0	1798,2	1617,9	1515,7

* По данным Росстата на основании результатов переписей населения 1989, 2002 и 2010 гг., а в 1997 г. для зон B, C – по форме федерального статистического наблюдения П-Чернобыль

Таблица 4

Распределение упраздненных населенных пунктов, уровни загрязнения цезием-137 территорий которых соответствует критериям зон радиоактивного загрязнения, по состоянию на 01 января 2016 г.

Субъект Российской Федерации	Вероятный статус зоны радиоактивного загрязнения	Количество упраздненных населенных пунктов	Отношение к действующему перечню населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на ЧАЭС, %
Брянская область	B	40	154
Брянская область	C	95	50
Брянская область	D	69	13
Воронежская область	D	1	1
Калужская область	D	20	7
Орловская область	D	19	2
Пензенская область	D	3	10
Рязанская область	D	2	1
Тульская область	D	20	2

радионуклидами и (или) средней годовой эффективной дозы облучения населения выделяются следующие зоны радиоактивного загрязнения:

- зона эвакуации (отчуждения) – территория вокруг Чернобыльской АЭС, с которой в 1986 г. было эвакуировано население (30-километровая зона и территория, с которой проведено дополнительное отселение населения в связи с плотностью загрязнения почв радионуклидами стронция-90 более 3 Ки/км², и плутония-238, 239, 240 более 0,1 Ки/км²);
- зона первоочередного отселения – территория с плотностью загрязнения почв радионуклидами цезия-137 от 40 Ки/км², либо стронция-90 или плутония-238, 239, 240, соответственно 3 и 0,1 Ки/км² и более;

- зона последующего отселения – территория с плотностью загрязнения почв радионуклидами цезия-137 от 15 до 40 Ки/км², либо стронция-90 от 2 до 3 Ки/км² или плутония-238, 239, 240 от 0,05 до 0,1 Ки/км², на которой средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить (над уровнем естественного и техногенного фона) 5 мЗв, и другие территории с меньшей плотностью загрязнения указанными радионуклидами, на которых средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить 5 мЗв;
- зона с правом на отселение – территория с плотностью загрязнения почв радионуклидами цезия-137 от 5 до 15 Ки/км², либо стронция-90 от 0,5 до 2 Ки/км² или плутония-238, 239, 240 от 0,02 до

0,05 Ки/км², на которой средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить (над уровнем естественного и техногенного фона) 1 мЗв, и другие территории с меньшей плотностью загрязнения указанными радионуклидами, на которых средняя годовая эффективная доза облучения населения может превысить 1 мЗв;

- зона проживания с периодическим радиационным контролем – территория с плотностью загрязнения почв радионуклидами цезия-137 от 1 до 5 Ки/км², либо стронция-90 от 0,15 до 0,5 Ки/км² или плутония-238, 239, 240 от 0,01 до 0,02 Ки/км², на которой средняя годовая эффективная доза облучения населения не должна превышать (над уровнем естественного и техногенного фона) 1 мЗв.

Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, в зависимости от изменения радиационной обстановки утверждается и пересматривается Советом Министров Республики Беларусь не реже одного раза в пять лет.

Радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС подверглась территория Белоруссии площадью 46 тыс. км² во всех областях страны или 23 % ее площади, в том числе 18,7 тыс. км² или 20 % сельскохозяйственных земель, 20,1 тыс. км² или 25 % лесного фонда (площадь определялась по картам с нанесенными на нее изолиниями уровней загрязнения радионуклидами).

За период с 1986 по 2015 гг. площадь территории Белоруссии плотностью загрязнения почв радионуклидом цезия-137 от 1 Ки/км² и более в связи с его естественным распадом уменьшилась в 1,7 раза и по состоянию на 1 января 2015 г. составила 13,4 % (табл. 5).

В настоящее время загрязнено цезием-137 с плотностью от 1 до 40 Ки/км² 941,3 тыс. гектаров и стронцием-90 от 0,15 до 3,0 Ки/км² 321,7 тыс. гектаров сельскохозяйственных земель. Территория лесного фонда, отнесенная к зонам радиоактивного загрязнения, со-

ставляет 1 701,3 тыс. гектаров или 18,0 % от общей площади лесного фонда.

Площадь зоны эвакуации (отчуждения) – территории, с которой в 1986 г. было эвакуировано население (30-километровая зона и территория, с которой было проведено дополнительное отселение в связи с плотностью загрязнения почв радионуклидами стронция-90 более 3 Ки/км² и плутония-238, 239, 240 – более 0,1 Ки/км²), составляет 1,7 тыс. км².

Площадь территории, загрязненной радионуклидом стронция-90 с плотностью 0,15 Ки/км² и более, не относящейся к зоне эвакуации (отчуждения), составляет 5,3 % и практически вся она одновременно загрязнена и радионуклидом цезия-137.

Площадь территории с плотностью загрязнения радионуклидами плутония-238, 239, 240 от 0,01 Ки/км² и более за пределами зоны эвакуации (отчуждения) составляет 1,3 % площади территории республики.

В связи с улучшением радиационной обстановки, обусловленным уменьшением как плотности загрязнения почв вследствие радиоактивного распада изотопов, так и доз облучения населения, существенно уменьшилось количество населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения.

Если перечнем территорий (населенных пунктов и других объектов), относящихся к зонам радиоактивного загрязнения, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 июня 1992 г. № 328, к зоне проживания с периодическим радиационным контролем было отнесено 1988 населенных пунктов, к зоне с правом на отселение – 1 200, к зоне последующего отселения – 299, к зоне первоочередного отселения – 26, то согласно перечню населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 января 2016 г. № 9, по состоянию на 1 января 2015 г. к зоне проживания с периодическим радиационным контролем отнесено 1827 населенных пунктов, к зоне с

Таблица 5

Загрязнение территории Белоруссии цезием-137 в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС по состоянию на 1 января 2015 г.

Административно-территориальное образование Белоруссии	Загрязнено территории – всего		В том числе с уровнем загрязнения территории, тыс. км ²			
	тыс. км ²	% от общей площади территории	1–5 Ки/км ²	5–15 Ки/км ²	15–40 Ки/км ²	40 и более Ки/км ²
Белоруссия, в том числе	27,9	13,4	19,6	6,52	1,45	0,32
Брестская область	1,95	5,9	1,9	0,04		
Гомельская область	17,4	43,1	11,53	4,63	0,92	0,32
Гродненская область	0,46	1,8	0,46			
Минская область	0,61	1,5	0,61	<0,01		
Могилевская область	7,48	25,8	5,1	1,85	0,53	

Таблица 6

Распределение населенных пунктов Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения по состоянию на 1 января 2015 г.

№ п/п	Административно-территориальное образование Республики Беларусь	Зона проживания с периодическим радиационным контролем	Зона с правом на отселение	Зона последующего отселения	Всего по области
1	Брестская	99	5	–	104
2	Гомельская	951	255	10	1216
3	Гродненская	84	–	–	84
4	Минская	90	1	–	91
5	Могилевская	603	92	3	698
	Итого	1827	353	13	2193

правом на отселение – 353, к зоне последующего отселения – 13 (табл. 6). В зоне первоочередного отселения населенных пунктов нет.

Населенные пункты, находящиеся в зонах радиоактивного загрязнения, имеются на территориях Брестской, Гомельской, Гродненской, Минской и Могилевской областей. По состоянию на 1 января 2015 г. в них проживало 1 112 675 человек. С 1992 г. количество проживающих на этих территориях граждан уменьшилось более чем на 740 тыс. человек.

Обсуждение

Как показывают результаты проведенного выше ретроспективного анализа, зоны радиоактивного загрязнения вследствие аварии на ЧАЭС были в окончательном виде определены нормативно-правовыми актами (в форме Перечня населенных пунктов без установления границ зон) только к 1991 г. – через пять лет после Чернобыльской катастрофы.

Фактические (действительные) границы зон радиоактивного загрязнения ни разу не были установлены, не были разработаны методические и нормативные документы для их определения. Исключение составляет образование на территории Белоруссии Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, находящегося в границах 30-км Чернобыльской зоны. Границы зоны отчуждения вследствие Чернобыльской катастрофы на территории Российской Федерации (Брянская область) фактически не установлены.

В настоящее время юридически зоны радиоактивного загрязнения соответствуют границам населенных пунктов, которым присвоен определенный статус тер-

ритории радиоактивного загрязнения. Это приводит, в частности, к парадоксальному «автоматическому» сокращению зон радиоактивного загрязнения из-за процессов упразднения населенных пунктов вследствие отсутствия в них жителей (табл. 7). Отсутствие установленных границ зон радиоактивного загрязнения создает сложности по обоснованию мероприятий, направленных на проведение радиационного мониторинга, реабилитацию радиоактивно загрязненных земель и возвращению их в хозяйственный оборот.

Наиболее наглядно такая ситуация проявляется на территории Брянской области, где зона отселения недооценена (по отношению к упраздненным поселениям), как минимум, примерно в 1,5 раза по отношению к действующему по состоянию на 1 января 2016 г. перечню населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения (табл. 7), зона проживания с правом на отселение на 50 %, и более чем на 10 % – зона проживания с льготным социально-экономическим статусом вследствие исключения упраздненных населенных пунктов из соответствующих перечней.

В Российской Федерации перечень населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС [24], уже через 9 мес с момента утверждения фактически изменился из-за упразднения 14 населенных пунктов за отсутствием в них жителей. По состоянию на середину 2016 г. в перечне находилось примерно 1 200 населенных пунктов (свыше 30 % от списочного состава перечня) с количеством жителей на момент Всероссийской переписи населения 2010 г. менее 10 чел (табл. 7). Эти населенные пункты фактически находятся на грани исчезновения (упразднения) вследствие

Таблица 7

Современное состояние перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 8 октября 2015 г. № 1074

Субъект Российской Федерации	Количество населенных пунктов, в зонах радиоактивного загрязнения														
	Зона проживания с льготным соци- ально-экономическим статусом					Зона проживания с правом на отселение					Зона отселения				
	Нас. пун- кты	Из них				Нас. пун- кты	Из них				Нас. пун- кты	Из них			
		Упразднены в пе- риод с 08.10.2015 г. по 01.07.2016 г.	Нас. пункты с ко- личеством жителей не более 10 чел.	в которых средний возраст жи- телей, лет			Упразднены в пе- риод с 08.10.2015 г. по 01.07.2016 г.	Нас. пункты с ко- личеством жителей не более 10 чел.	в которых средний возраст жи- телей, лет			Упразднены в пе- риод с 08.10.2015г. по 01.07.2016 г.	Нас. п. с количе- ством жителей не более 10 чел.	в которых средний возраст жи- телей, лет	
				М	Ж				М	Ж				М	Ж
Белгородская область	78	-	9	59	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Брянская область	528	5	135	52	65	191	8	58	55	64	26	-	8	56	64
Воронежская область	74	-	13	57	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Калужская область	286	-	125	55	67	14	-	13	52	78	-	-	-	-	-
Курская область	156	-	35	51	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ленинградская область	29	-	2	50	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Липецкая область	69	-	15	53	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Орловская область	842	-	314	51	61	1	-	1	62	80	-	-	-	-	-
Пензенская область	31	1	8	46	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рязанская область	285	-	82	58	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тамбовская область	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тульская область	1190	-	451	51	62	27	-	14	49	56	-	-	-	-	-
Ульяновская область	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Республика Мордовия	15	-	1	60	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	3594	6	1190			233	8	86			26		8		

того, что количество и половозрастной состав жителей не располагает к естественному воспроизводству населения. Вследствие этого в ближайшем будущем следует ожидать существенного сокращения перечня (и, следовательно, как бы уменьшения площади территорий зон радиоактивного загрязнения) не столько по причинам изменения радиационной обстановки, сколько из-за отсутствия проживающих жителей в этих населенных пунктах. Аналогичная ситуация наблюдается в Белоруссии.

Следует также заметить, что Законом не установлено однозначно, какими среднегодовыми дозами облучения следует руководствоваться при формировании перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС – прогнозируемыми (расчетными) или полученными на основе прямых измерений. Специалистами Роспотребнадзора по данным 2014 г. были оценены 90 % квантили средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Брянской области ($СГЭД_{90}$), средние годовые эффективные дозы облучения критических групп жителей населенных пунктов Брянской области ($СГЭД_{крит}$) и фактические средние годовые эффективные дозы облучения жителей ($СГЭД_{факт}$) [26]. В результате, если проводить зонирование только по дозовому критерию, то возможны 3 варианта перечней населенных пунктов Российской Федерации с превышением гигиенического норматива в 1 мЗв/год: 284 НП по $СГЭД_{90}$; 301 НП по $СГЭД_{крит}$ и 37 населенных пунктов по $СГЭД_{факт}$. Очевидно, что варианты, связанные с расчетными дозами, на порядок отличаются от варианта по фактическим дозам облучения.

Заключение

Опыт преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС показывает, что отсутствие своевременных и научно-обоснованных процедур установления границ зон радиоактивного загрязнения приводит не только к неадекватной оценке масштабов последствий, но и не позволяет эффективно дифференцировать состав и объемы необходимых мер по защите населения, что индуцирует социально-психологическую напряженность (комплекс жертвы, иждивенческие настроения) среди населения, вызванную неопределенностью статуса прилегающих к населенным пунктам территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власова Н.Г., Висенберг Ю.В., Матарас А.Н. Обоснование перехода от зонирования радиоактивно загрязненной территории к классификации населенных пунктов по средним годовым эффективным дозам облучения в отдаленном периоде после аварии на ЧАЭС // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9. № 2. С. 31–39.
2. Эколого-экономическое обоснование использования земель в условиях радиоактивного загрязнения (условиях Беларуси) // Экономика сельского хозяйства. Реферативный журнал. 2008. № 3. 607 с.
3. Нормы безопасности МАГАТЭ. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации.

Общие требования безопасности. № GSR Part 7 – МАГАТЭ. Вена. 2016.

4. Национальная академия наук Украины. “Чернобыльская катастрофа”. – Киев: Наукова думка. 1995. 32 с.
5. Национальный архив Республики Беларусь. Чернобыль. 26 апреля 1986 – декабрь 1991. Документы и материалы. – Минск: НАРБ. 2006. С. 38–39.
6. Постановление ЦК КПСС, Президиума ВС СССР, Совмина СССР, ВЦСПС от 07 мая 1986 г. № 524-156 “Об условиях оплаты труда и материального обеспечения работников предприятий, организаций зоны Чернобыльской атомной электростанции”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 994.
7. Постановление ЦК КПСС, Совмина СССР от 29 мая 1986 г. № 634-188 “О проведении дезактивационных работ в районах Украинской ССР и Белорусской ССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в связи с аварией на Чернобыльской АЭС”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 994.
8. Приложение к Постановлению ЦК КПСС и СМ СССР от 20 июня 1986 г. № 745-209 “О возмещении материального ущерба населению, эвакуированному из населенных пунктов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 995.
9. Национальный архив Республики Беларусь. Чернобыль. 26 апреля 1986 – декабрь 1991. Документы и материалы. – Минск: НАРБ. 2006. С. 58–60.
10. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 22 августа 1986 г. № 1005-285 “О дополнительных мерах по трудоустройству, обеспечением жильем и социально-бытовым обслуживанием населения, эвакуированного из населенных пунктов в связи с аварией на Чернобыльской АЭС, и возмещения ему материального ущерба”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 997.
11. Постановление Совмина СССР от 22 августа 1986 г. № 1006-286 “Об улучшении материального положения населения, проживающего в населенных пунктах с ограничением потребления сельскохозяйственной продукции местного производства в связи с аварией на Чернобыльской АЭС”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 997.
12. Постановление Совета Министров РСФСР от 06 августа 1990 г. № 280 “О льготах лиц, работающих в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 1151.
13. Постановление Верховного Совета РСФСР от 19 сентября 1990 г. № 173-1 “О государственной программе по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы на территории РСФСР на 1990–1995 годы”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 1152.
14. Постановление Кабинета Министров СССР № 164 от 8 апреля 1991 г. “О концепции проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС”. – ГАРФ. Ф. 5446. Оп. 1. Д. 1160.
15. Закон СССР от 12 мая 1991 г. № 2146-1 “О социальной защите граждан, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы” // Ведомости Съезда народных депутатов СССР и Верховного Совета СССР от 22 мая 1991 г. № 21. Ст. 594.
16. Закон РСФСР от 15 мая 1991 г. № 1244-1 “О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС” // Ведомости Съезда народных депутатов Российской Федерации и Верховного Совета Российской Федерации от 23 мая 1991 г. № 21. Ст. 699.
17. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 1991 г. № 237-р [Электронный ресурс] // Режим доступа: Система Гарант (дата обращения: 04.04.2017) (Текст распоряжения официально опубликован не был).
18. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 февраля 1992 г. № 363-р [Электронный ресурс] // Режим доступа: Система Гарант (дата обращения: 04.04.2017). (Текст распоряжения официально опубликован не был).
19. Распоряжение Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 5 апреля 1993 г. № 557-р // Собр. актов

- Президента и Правительства Рос. Федерации. 1993. № 15. Ст. 1312.
20. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18 января 1995 г. № 73-р // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 4. Ст. 341.
21. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 апреля 1995 г. № 571-р // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 20. Ст. 1874.
22. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 декабря 1997 г. № 1582 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» // Собр. законодательства Рос. Федерации от 29 декабря 1997 г. № 52. Ст. 5924.
23. Постановление Правительства Российской Федерации от 7 апреля 2005 г. № 197 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2005. № 15. Ст. 1359.
24. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 октября 2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» // Собр. законодательства Рос. Федерации от 19 октября 2015 г. № 42. Ст. 578.
25. Закон Республики Беларусь от 26 мая 2012 г. № 385-3 «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь от 06.06.2012. № 63. Ст. 6.
26. Романович И.К., Брук Г.Я., Барковский А.Н. и соавт. Обоснование концепции перехода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9. № 1. С. 6–18.

About Defining the Borders of Radioactive Contamination Zones as a Result of Large Radiation Accidents.

Message I. Post-Accident Analysis of Chernobyl Zoning Experience

**A.M. Skorobogatov¹, M.G. Germenchuk², A.V. Simonov¹, O.M. Zhukova², O.N. Apanasyuk¹,
Yu.N. Golikov², T.A. Bulantseva¹, L.Yu. Lupach¹**

1. Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: sam@ibrae.ac.ru

2. Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring», Minsk, Belarus

A.M. Skorobogatov – Research Worker; M.G. Germenchuk – PhD Tech., First Deputy Head, Expert of the IAEA;

A.V. Simonov – PhD Psych., Head of Department; O.M. Zhukova – PhD Tech., Head of Department, Expert of the IAEA;

O.N. Apanasyuk – Senior Researcher; Yu.N. Golikov – Head of Department; T.A. Bulantseva – Engineer; L.Yu. Lupach – Junior Researcher

Abstract

Purpose: Retrospective analysis of the process of defining radioactive contamination zones formed after the Chernobyl accident.

Results: Summary of events related to liquidation of the Chernobyl NPP (ChNPP) accident consequences is given in the context of defining the radioactive contamination zones.

Experience of zoning of the territories exposed to radioactive contamination due to the Chernobyl NPP accident during 1986–2015 in Belarus and the Russian Federation has revealed the following:

- Zones of radioactive contamination as a result of the ChNPP accident have been finally defined by the regulatory-legal acts only by 1991 – in five years after the Chernobyl accident;
- At present, the radioactive contamination zones legally correspond to the borders of settlements that were given a certain status of the radioactively contaminated territory.

This leads, in particular, to paradoxical “automatic” reduction of radioactive contamination zones due to abolition of settlements with no inhabitants. Absence of the established borders of radioactive contamination zones creates difficulties in substantiation of the measures related to radiation monitoring, rehabilitation of radioactively contaminated areas and their return to economic circulation.

Conclusions: Experience of eliminating of the Chernobyl NPP accident consequences shows that the absence of modern and scientifically justified procedures of defining the borders of radioactive contamination zones results not only in an inadequate assessment of the scales of consequences, but also does not allow effective differentiating the inventory and scale of necessary measures on population protection.

Key words: radiation accidents, radioactive contamination zones, radiation exposure dose, density of radioactive contamination, the Chernobyl accident, the analysis of the experience of zoning

REFERENCES

1. Vlasova N.G., Visenberg Yu.V., Mataras A.N. Obosnovanie perekhoda ot zonirovaniya radioaktivno zagryaznennoi territorii k klassifikatsii naselennykh punktov po srednim godovym effektivnym dozam obлучeniya v otдалennom periode posle avarii na ChAES. [The substantiation of the transition from the zoning of radioactively contaminated territory to the classification of in human settlement to average annual effective doses of radiation in the remote period after the Chernobyl accident]. Radiacionnaya gigiena [Radiation Hygiene]. 2016. Vol. 9. No. 2. P. 31–39 (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Ekologo-ekonomicheskoe obosnovanie ispol'zovaniya zemel' v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya (usloviyakh Belarusi) [Environmental-economic justification of land use in the conditions of radioactive contamination (conditions of Belarus)]. Jekonomika sel'skogo hozjajstva. Referativnyj zhurnal [Rural Economics. Abstract journal]. 2008. No. 3. P. 607.
3. Normy bezopasnosti MAGATE. Gotovnost' i reagirovanie v sluchae yadernoi ili radiologicheskoi avariinoi situatsii. Obshchie trebovaniya bezopasnosti [IAEA Safety Standards. Preparedness and response in case of nuclear or radiological emergency. General safety requirements]. No. GSR. Part 7. IAEA. Vienna. 2016.
4. Natsional'naya akademiya nauk Ukrainy. “Chernobyl'skaya katastrofa” [National Academy of Sciences of Ukraine. “Chernobyl accident”]. – Kiev: Publ. Naukova dumka. 1995. 32 pp.
5. Natsional'nyi arkhiv Respubliki Belarus'. Chernobyl'. 26 aprelya 1986 – dekabr' 1991. Dokumenty i materialy [National archive of Byelorussia. Chernobyl. April 26. 1986 – December 1991. Documents and materials]. – Minsk: Publ. NARB. 2006. P. 38–39.
6. Postanovlenie TS KPSS, Prezidiuma VS SSSR, Sovmina SSSR, VCPS ot 07 maja 1986 goda No. 524–156 “Ob usloviyah oplaty truda i material'nogo obespecheniya rabotnikov predpriyatij, organizacij zony Chernobyl'skoj atomnoj elektrostancii” [Decree of the CPSU Central Committee, Presidium Supreme of the

- USSR Soviet, Soviet of Ministries of the USSR of May 7. 1986. No. 524-156 "About repayment terms of work and material maintenance of workers of the enterprises and organisations in the area of the Chernobyl NPP". – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 994.
7. Postanovlenie TsK KPSS, Sovmina SSSR ot 29 maya 1986 goda № 634-188 "O provedenii dezaktivatsionnykh rabot v raionakh Ukrainskoi SSR i Belorusskoi SSR, podvergnutym radioaktivnomu zagryazneniyu v svyazi s avariei na Chernobyl'skoi AES" [Decree of the CPSU Central Committee, Soviet of Ministries of the USSR of May 29. 1986. No. 634-188 "About carrying out of decontamination works in the areas of the Ukrainian Soviet Socialist Republic and the Belarus Soviet Socialist Republic, exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP"]. – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 994.
 8. Prilozhenie k Postanovleniyu TsK KPSS i SM SSSR ot 20 iyunya 1986 g. No. 745-209 "O vozmeshchenii material'nogo ushcherba naseleniyu, evakuirovannomu iz naselennykh punktov zony otchuzhdeniya Chernobyl'skoi AES" [Annex to the Decree of the CPSU Central Committee, Soviet of Ministries of the USSR of June 20. 1986. No. 745-209 "About compensation of material damage to the population evacuated from settlements in the Chernobyl NPP exclusion zone"]. – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 995.
 9. Natsional'nyi arkhiv Respubliki Belarus'. Chernobyl'. 26 aprelya 1986 – dekabr' 1991. Dokumenty i materialy [National archive of Byelorussia. Chernobyl. April 26. 1986 – December 1991. Documents and materials]. – Minsk: Publ. NARB. 2006. P. 58–60.
 10. Postanovlenie TsK KPSS i Soveta Ministrov SSSR ot 22 avgusta 1986 g. No. 1005-285 "O dopolnitel'nykh merakh po trudoustroistvu, obespecheniem zhitel' i sotsial'no-bytovym obsluzhivaniem naseleniya, evakuirovannogo iz naselennykh punktov v svyazi s avariei na Chernobyl'skoi AES, i vozmeshcheniya emu material'nogo ushcherba" [Decree of the CPSU Central Committee, Soviet of Ministries of the USSR of August 22. 1986. No. 1005-285 "About additional measures on employment, welfare and social service of the population evacuated from settlements as a result of the Chernobyl NPP accident, and compensation of material damage"]. – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 997.
 11. Postanovlenie Sovmina SSSR ot 22 avgusta 1986 g. No. 1006-286 "Ob uluchshenii material'nogo polozheniya naseleniya, prozhivayushchego v naselennykh punktakh s ogranicheniem potrebleniya sel'skokhozyaistvennoi produktsii mestnogo proizvodstva v svyazi s avariei na Chernobyl'skoi AES" [Decree of the Soviet of Ministries of the USSR of August 22. 1986. No. 1006-286 "About improvement of material standing of the population residing in settlements with restriction of consumption of local agricultural production as a result of the Chernobyl NPP accident"]. – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 997.
 12. Postanovlenie Soveta Ministrov RSFSR ot 06 avgusta 1990 g. No. 280 "O Igotakh lits, rabotayushchikh v raionakh, podvergnutym radioaktivnomu zagryazneniyu v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoi AES" [Decree of the Soviet of Ministries of the RSFSR of August 06. 1990. No. 280 "About privileges of the persons working in areas exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP accident"]. – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 1151.
 13. Postanovlenie Verkhovnogo Soveta RSFSR ot 19 sentyabrya 1990 g. № 173-1 "O gosudarstvennoi programme po likvidatsii posledstviy chernobyl'skoi katastrofy na territorii RSFSR na 1990-1995 gody" [Decree of the Supreme Soviet of the RSFSR of September 19. 1990. No. 173-1 "About the state program on liquidation of the Chernobyl accident consequences in the RSFSR territory for 1990-1995"]. – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 1152.
 14. Postanovlenie Kabineta Ministrov SSSR № 164 ot 8 aprelya 1991 goda "O kontseptsii prozhivaniya naseleniya v raionakh, postradavshikh ot avarii na Chernobyl'skoi AES" [Decree of the Cabinet of Ministers of the USSR. No. 164 of April 8. 1991 "About the concept of residing in the areas suffered from the Chernobyl NPP accident"]. – GARF. F. 5446. Op. 1. D. 1160.
 15. Zakon SSSR ot 12 maya 1991 g. No. 2146-1 "O sotsial'noi zashchite grazhdan, postradavshikh v sledstvie chernobyl'skoi katastrofy" [Law of the USSR of May 12. 1991, No. 2146-1 "About social protection of the citizens suffered from the Chernobyl accident"]. // Vedomosti S'ezda narodnykh deputatov SSSR i Verkhovnogo Soveta SSSR [Sheets of Congress of People's Deputies of the USSR and the Supreme Soviet of the USSR] ot 22 maya 1991 g. No. 21. St. 594.
 16. Zakon RSFSR ot 15 maya 1991 g. No. 1244-1 "O sotsial'noi zashchite grazhdan, podvergnutym radioaktivnomu zagryazneniyu v sledstvie katastrofy na Chernobyl'skoi AES" [The law RSFSR of May 15. 1991. No. 1244-1 "About social protection of citizens exposed to radiation as a result of the Chernobyl NPP accident"]. // «Vedomosti S'ezda narodnykh deputatov Rossiiskoi Federatsii i Verkhovnogo Soveta Rossiiskoi Federatsii» ot 23 maya 1991 g. No. 1. St. 699.
 17. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 28 dekabrya 1991 g. No. 237-r. [Elektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: Sistema Garant (data obrashcheniya: 04.04.2017) (Tekst rasporyazheniya ofitsial'no opublikovan ne byl).
 18. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 25 fevralya 1992 g. No. 363-r. [Elektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: Sistema Garant (data obrashcheniya: 04.04.2017). (Tekst rasporyazheniya ofitsial'no opublikovan ne byl).
 19. Rasporyazhenie Soveta Ministrov – Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 5 aprelya 1993 g. No. 557-r // Sobranie aktov Prezidenta i Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii. 1993. No. 15. St. 1312.
 20. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 18 yanvarya 1995 g. No. 73-r. // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federatsii. 1995. No. 4. St. 341.
 21. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 25 aprelya 1995 g. No. 571-r. // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federatsii. 1995. No. 20. St. 1874.
 22. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 18 dekabrya 1997 g. No. 1582 "Ob utverzhdenii perechnya naselennykh punktov, nakhodyashchikhsya v granitsakh zon radioaktivnogo zagryazneniya v sledstvie katastrofy na Chernobyl'skoi AES" ["About approval of the list of settlements situated within the borders of radioactive contamination zones as a result of the Chernobyl NPP accident"]. // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federatsii ot 29 dekabrya 1997 g. No. 52. St. 5924.
 23. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 7 aprelya 2005 goda, No. 197 "Ob utverzhdenii perechnya naselennykh punktov, nakhodyashchikhsya v granitsakh zon radioaktivnogo zagryazneniya v sledstvie katastrofy na Chernobyl'skoi AES" ["About approval of the list of settlements situated within the borders of radioactive contamination zones as a result of the Chernobyl NPP accident"]. // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federatsii. 2005. No. 15. St. 1359.
 24. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 8 oktyabrya 2015 g. No. 1074 "Ob utverzhdenii perechnya naselennykh punktov, nakhodyashchikhsya v granitsakh zon radioaktivnogo zagryazneniya v sledstvie katastrofy na Chernobyl'skoi AES" ["About approval of the list of settlements situated within the borders of radioactive contamination zones as a result of the Chernobyl NPP accident"]. // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federatsii ot 19 oktyabrya 2015 g. No. 42. St. 578.
 25. Zakon Respubliki Belarus' ot 26 maya 2012 goda № 385-Z "O pravom om rezhime territorii, podvergnutym radioaktivnomu zagryazneniyu v rezul'tate katastrofy na Chernobyl'skoi AES" ["About the legal regime of territories exposed to radiation as a result of the Chernobyl NPP accident"]. // Natsional'nyi reestr pravovykh aktov Respubliki Belarus' ot 06.06.2012 g. No. 63. St. 6.
 26. Romanovich I.K., Bruk G.Ya., Barkovskii A.N. i soavt. Obosnovanie kontseptsii perekhoda naselennykh punktov, otnesennykh v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoi AES k zonam radioaktivnogo zagryazneniya, k usloviyam normal'noi zhiznedeyatel'nosti naseleniya [Substantiation of the concept of returning the settlements, assigned to the zones of radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP accident, to the normal conditions of the population vital functions]. – M.: Radiatsionnaya gigiena [Radiation Hygiene]. 2016. Vol. 9. No. 1. P. 6–18. (In Russ., abstr. in Engl.).

DOI 10.12737/article_59f2f75e1cb220.73941126

**Н.К. Шандала¹, А.М. Маренный², Д.В. Исаев¹, А.В. Титов¹, С.М. Киселев¹, М.П. Семенова¹,
Н.А. Нефедов², В.И. Астафуров², Л.А. Журавлёва³, М.А. Маренный⁴, Е.А. Хохлова⁵, В.В. Уйба⁶**

**РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ
ПЕРСОНАЛА НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИАРГУНСКОГО
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ**

1. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: titov_fmbs@mail.ru.
2. Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва.
3. Центр гигиены и эпидемиологии № 107 ФМБА России, Краснокаменск.
4. Группа компаний РЭИ, Москва.
5. Межрегиональное управление № 107 ФМБА России, Краснокаменск.
6. Федеральное медико-биологическое агентство, Москва.

Н.К. Шандала – зам. генерального директора по науке и биофизическим технологиям, д.м.н., член Российской научной комиссии по радиологической защите, член комитета по радиационной безопасности и охране здоровья АЯЭ ОСЭР, член Международной ассоциации по радиационной защите;

А.М. Маренный – профессор, д.ф.-м.н., зав. лаб., член Европейского союза радиологов, академик РАЕН;

Д.В. Исаев – н.с., член Международной ассоциации по радиационной защите;

А.В. Титов – с.н.с., член Международной ассоциации по радиационной защите;

С.М. Киселев – к.б.н, в.н.с., член Международной ассоциации по радиационной защите;

М.П. Семенова – с.н.с., член Международной ассоциации по радиационной защите;

Н.А. Нефедов – к.ф.-м.н., в.н.с.;

В.И. Астафуров – доцент, к.х.н., в.н.с., профессор;

Л.А. Журавлева – главный врач;

М.А. Маренный – к.э.н., главный инженер Группы компаний РЭИ, Москва;

Е.А. Хохлова – руководитель Межрегионального управления № 107 ФМБА России;

В.В. Уйба – руководитель ФМБА России, д.м.н., профессор

Реферат

Цель: Получить данные о радиационной обстановке на рабочих местах персонала Приаргунского производственного горно-химического объединения (ПАО ППГХО), работающего в помещениях наземных объектов.

Материал и методы: При проведении обследования радиационной обстановки использовались средства интегральных измерений объемной активности радона трековыми камерами РЭИ-4 из комплекта ТРЕК-РЭИ-1М. Для оценки фактора равновесия между активностью радона и его дочерних радионуклидов проводились кратковременные измерения объемной активности (ОА) радона и эффективной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) с помощью переносных радиометров радона и его дочерних радионуклидов (РАА-20П2 «Поиск»). Мощность дозы гамма-излучения измерялась переносными дозиметрами.

Результаты: Получены среднегодовые значения ОА, ЭРОА и эффективной дозы облучения от радона и внешнего гамма-излучения на рабочих местах в наземных объектах ПАО ППГХО. Общее количество обследованных помещений – 138, в 121 из которых работает персонал группы А, а в 17 помещениях – персонал группы Б.

Выводы: Показано, что среднегодовые дозы 20 мЗв могут быть превышены у персонала группы А, работающего в трех помещениях ствола 8К рудника-2, в одном помещении здания 630А Гидрометаллургического завода (ГМЗ), и в одном помещении ствола 5В рудника Г.

В рабочих помещениях персонала группы Б среднегодовые эффективные дозы 5 мЗв могут быть превышены в 2 и более раз в помещениях столовой № 18 и административно-бытовом корпусе (АБК) рудника-2.

Ключевые слова: рудник, персонал, радиационное обследование, радон, вентиляция, ингаляционное поступление, гамма-излучение, класс условий труда, рабочее место, эффективная доза

Поступила: 12.12.2016. Принята к публикации: 21.09.2017

Введение

Публичное акционерное общество «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (далее – ПАО ППГХО) является многоотраслевым горнодобывающим предприятием, осуществляющим, кроме подземной добычи урановых руд (урановое горнорудное управление – УГРУ), также переработку этих руд гидрометаллургическим способом с получением закиси-окиси урана (гидрометаллургический завод – ГМЗ).

Промышленные площадки объединения сосредоточены на радоноопасной территории в 15 км к востоку от города Краснокаменск (Стрельцовское рудное поле, Забайкальский край). Кроме того, ПАО ППГХО является источником выброса ^{222}Rn в атмосферу. По данным ежегодника [1], в 2010 и 2011 гг. из стволов и вентиляционных шурфов УГРУ годовой выброс ^{222}Rn составил $3,31 \times 10^{14}$ и $3,88 \times 10^{14}$ Бк соответственно.

Инспекционные (кратковременные) измерения ЭРОА радона, проведенные в рабочих помещениях наземных объектов ПАО ППГХО, показали, что в ряде помещений, где работает персонал как группы А, так и Б, уровни ЭРОА радона могут превысить допустимые значения (1200 и 310 Бк/м³ соответственно).

В связи с этим, в период 2010–2011 гг. были проведены более детальные исследования радиационной обстановки в 138 рабочих помещениях, включающие длительные измерения ОА радона и мощности дозы гамма-излучения.

Целью исследований являлось получение данных о радиационной обстановке на рабочих местах персонала Приаргунского производственного горно-химического объединения (ПАО ППГХО), работающего в помещениях наземных объектов и оценки потенциальных эффективных доз облучения.

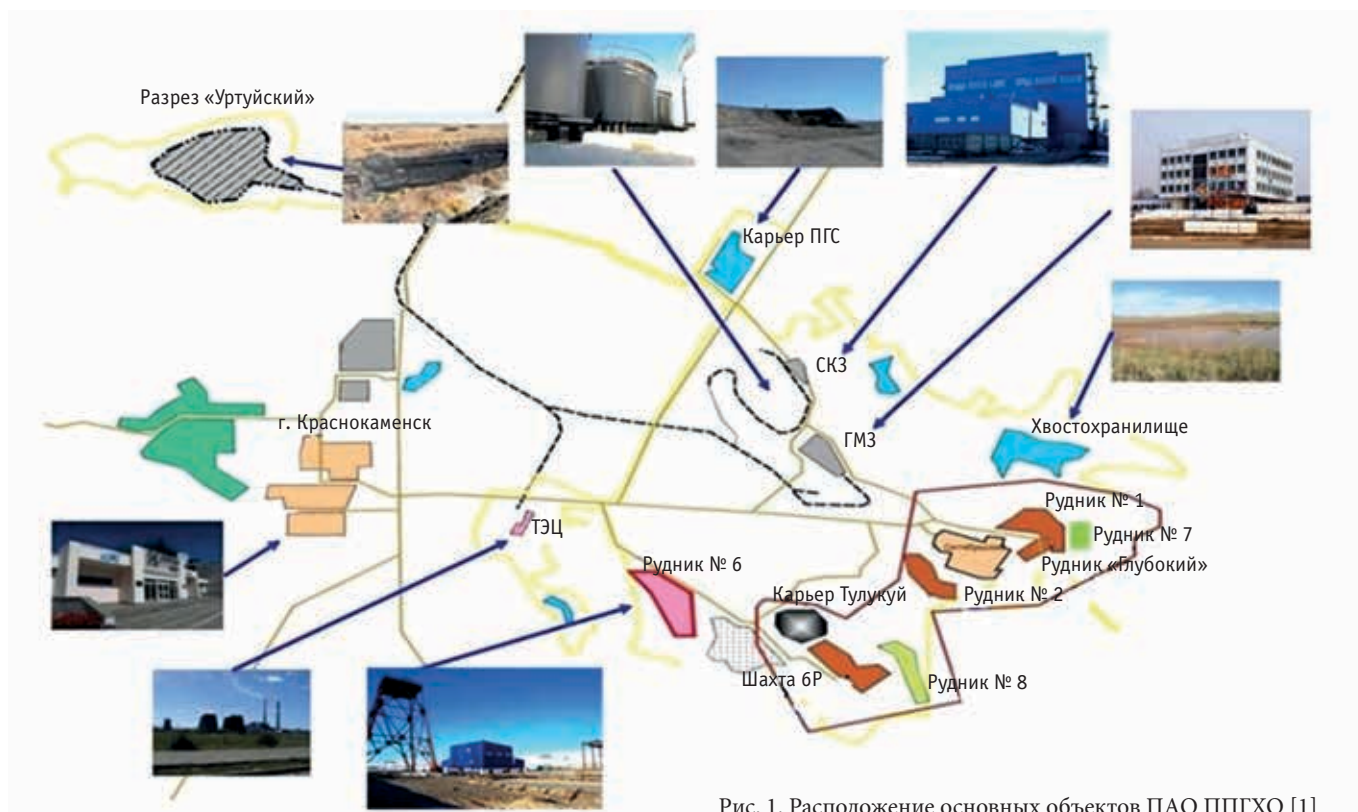


Рис. 1. Расположение основных объектов ПАО ППГХО [1]

Материал и методы

Обследование рабочих помещений ПАО ППГХО проводилось на следующих производственных подразделениях: автохозяйство технологического транспорта (АТТ), гидрометаллургический завод (ГМЗ), рудник Г, рудник-1, рудник-2, участки УГРУ, шахта 6Р (см. рис. 1). Общее количество обследованных помещений – 138, в 121 из которых работает персонал группы А, а в 17 помещениях – персонал группы Б.

В 124 помещениях, в том числе в 11 рабочих помещениях персонала группы Б, проводится круглосуточная работа. В 14 помещениях, в том числе в 6 рабочих помещениях персонала группы Б, работа проводится только в дневную смену (см. табл. 1).

На рабочих местах измерялись ОА радона и мощность AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения.

Длительные измерения ОА радона проводились с помощью интегральных трековых экспозиметров РЭИ-4 (диапазон измеряемой активности при экспозиции в течение 30 сут 20–2000 Бк/м³) [3]. Метод, устройство экспозиметра и расчет ОА радона на основе зарегистрированной плотности треков на детек-

торе экспозиметра описаны в [4]. Для оценки фактора равновесия между активностью радона и его дочерних радионуклидов при установке экспозиметра на место измерений, а также по окончании экспонирования, проводились кратковременные измерения ОА и ЭРОА радона с помощью аэрозольного альфа-радиометра РАА-20П2 «Поиск» (диапазон измерения ЭРОА радона в воздухе 3–10⁵ Бк/м³). В некоторых контрольных точках такие измерения проводились и в процессе экспозиции трековых детекторов. Кроме того, в тех же контрольных точках проводились измерения мощности AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения переносным дозиметром «Колибри» (диапазон измерения 0,05 мкЗв/ч – 10 Зв/ч) и гамма-дозиметром, встроенным в альфа-радиометр РАА-20П2 «Поиск» (диапазон измерения 0,1–30 мкЗв/ч). Для сопоставления результатов измерений были проведены сличения показаний дозиметров в местах с различными уровнями гамма-излучения.

Измерения производились в течение четырех периодов: октябрь 2010 – март 2011 г., март – июль 2011 г., июнь – июль 2011 г., июль – сентябрь 2011 г. В каждом из помещений измерения в одних и тех же контроль-

Таблица 1

Тип вентиляции и режим работы в обследованных помещениях

Тип вентиляции	Количество обследованных помещений			
	Персонал группы А		Персонал группы Б	
	Круглосуточная работа	Дневная смена	Круглосуточная работа	Дневная смена
Вытяжная механическая	13	8	5	2
Естественная	38	0	1	1
Местная механическая	7	0	0	2
Приточная и местная механическая	47	0	0	1
Приточно-вытяжная механическая	7	0	5	0
Общешахтная депрессия	1	0	0	0
Всего	113	8	11	6

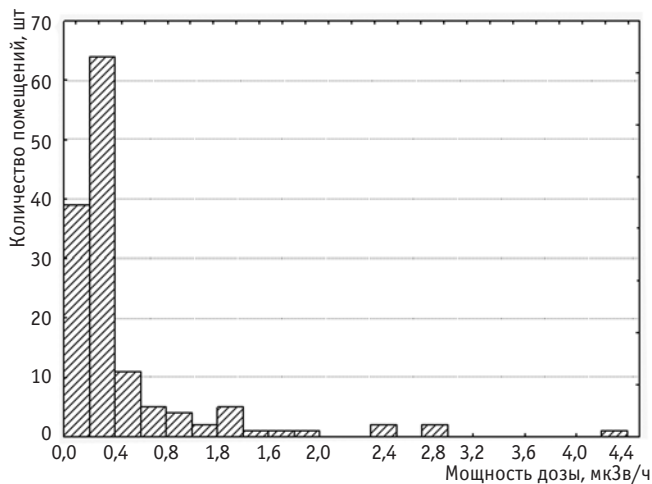


Рис. 2. Распределение рабочих помещений по значениям мощности дозы гамма-излучения

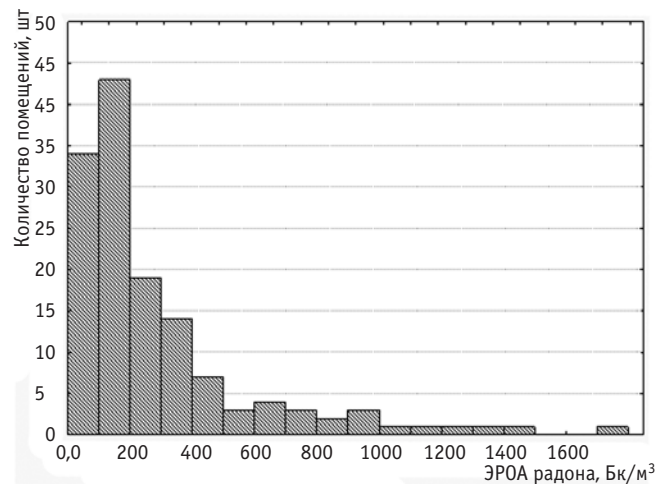


Рис. 3. Распределение рабочих помещений по ЭРОА радона

ных точках повторялись в течение не менее двух периодов.

Оценка среднегодовых эффективных доз облучения на каждом рабочем месте, обусловленных радонном, проводилась с использованием результатов двухсезонных интегральных и инспекционных измерений в соответствии с методиками, изложенными в [5, 6]. Среднегодовая эффективная доза облучения от радона и гамма-излучения рассчитывалась по методическим указаниям [6].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлена диаграмма распределения обследованных помещений по значениям мощности дозы гамма-излучения. Как видно из приведенных данных, в большинстве из обследованных помещений мощность дозы гамма-излучения не превышает 0,4 мкЗв/ч, причем в рабочих помещениях персонала

группы Б мощность дозы не превышает 0,3 мкЗв/ч. Значения мощности дозы гамма-излучения, равные или превышающие 1 мкЗв/ч, получены в 19 помещениях. Максимальный уровень мощности дозы (4,4 мкЗв/ч) зафиксирован на ремонтной площадке блока 3 цеха 1 отделения 2 в здании 622 ГМЗ. И в других помещениях здания 622 ГМЗ имеют место повышенные уровни гамма-излучения, что связано с излучением от урановой руды.

На рис. 3 представлена диаграмма распределения помещений по ЭРОА радона. В четырех помещениях на рабочих местах персонала А превышено значение допустимой активности радона (ДОА) в единицах эквивалентной равновесной активности (1200 Бк/м³ [7]). Максимальный среднегодовой уровень ЭРОА радона (1720 Бк/м³) зафиксирован в помещении сигналиста рудника-2 (ствол 8К, отм. +18,0 м). Еще на двух рабочих местах этого рудника (бункерная на рабочей пло-

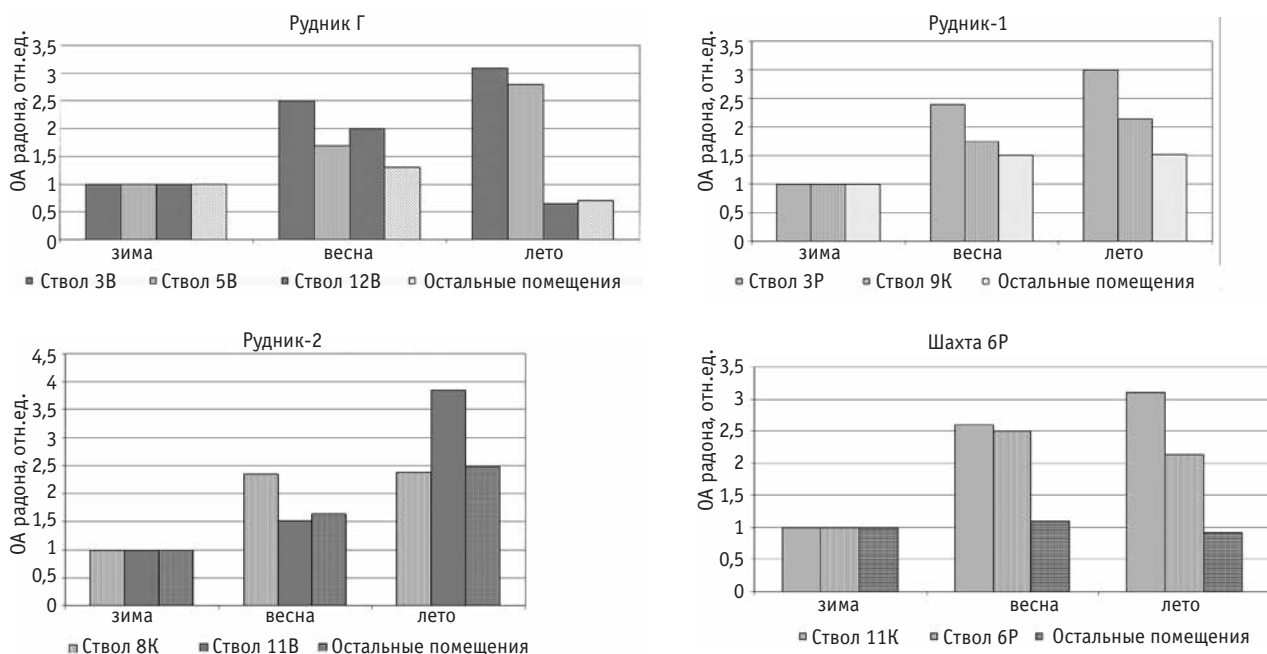


Рис. 4. ОА радона в наземных помещениях рудников и шахт (здесь и на рис. 5 за единицу принята ОА радона в зимний период)

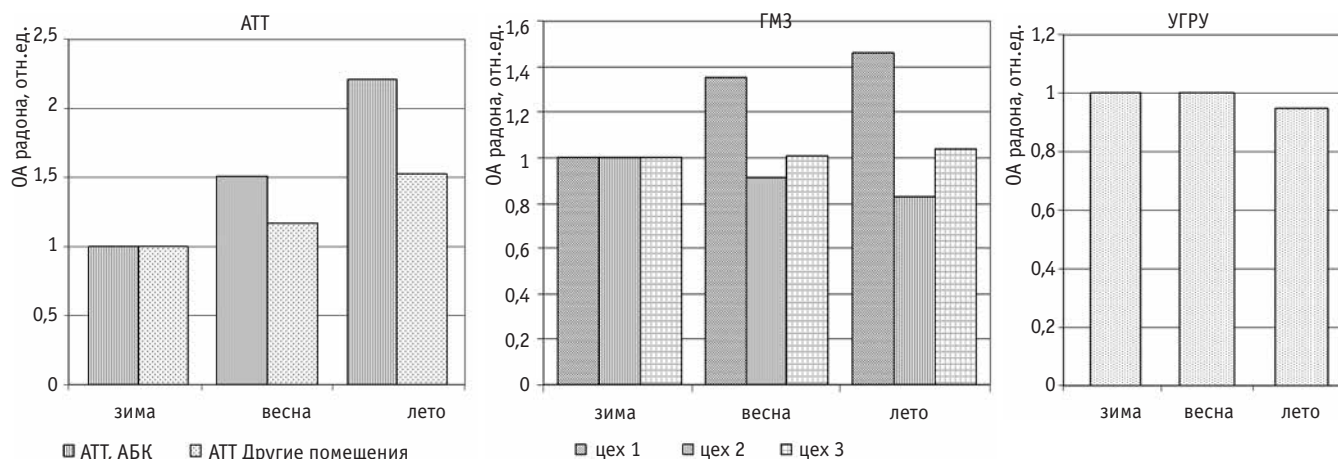


Рис. 5. ОА радона в наземных помещениях других объектов

щадке отм. +4,0 м и рабочая площадка на отм. +18,0 м) среднегодовые уровни ЭРОА радона составляют 1500 и 1400 Бк/м³ соответственно.

На рабочих местах персонала Б значение допустимой ЭРОА радона (310 Бк/м³ [7]) превышает в овощном и обвалочном цехах столовой № 18 рудника-2 (со-

ответственно 960 и 550 Бк/м³) и в женской гардеробной спецодежды и домашней одежды АБК АТТ (540 Бк/м³).

На рис. 4 и 5 представлены гистограммы значений ОА радона в различные периоды года (зима, весна, лето), сгруппированные для обследованных помещений различных объектов. Вопреки известной тенден-

Таблица 2

Потенциальные среднегодовые дозы облучения на рабочих местах ПАО ППГХО

Объект	Группа персонала	Количество обследованных помещений	Диапазон потенциальных эффективных доз, мЗв/год	Рабочие места объекта с максимальной потенциальной эффективной дозой
АТТ	Б	12	1,1–11	АБК, 1 этаж, женская гардеробная спецодежды, домашней одежды
ГМЗ, здание 631	А	2	2,2–4,0	Здание 631, лаборатория КИП и А, бюро приемки
ГМЗ, цех 1	А	13	1,3–8,9	Отделение 2, здание 622, блок 3, отм. 0,0 м, ремонтная площадка ось 1
ГМЗ, цех 2	А	7	2,3–4,6	Отделение 1, отм. +21,0 м, площадка обслуживания пачук поз. 157/3
ГМЗ, цех 3	А	12	2,5–21	Здание 630 А, отм. –5,0 м, площадка обслуживания пуков поз. 1/5,6
Рудник-Г, ствол 3В	А	2	3,6–9,3	Отм. +3,0 м, бункерная, рабочая площадка
Рудник-Г, АБК-2000	А	8	0,9–2,8	2-й этаж, мужская гардеробная спецодежды
Рудник-Г, иные помещения	А	5	1,0–2,5	Ламповая: помещение выдачи светильников и самоспасателей и помещение зарядки светильников
Рудник-Г, ствол 12В	А	2	1,4–1,5	Отм. 0,0 м, рабочая площадка
Рудник-Г, ствол 3В	А	3	7,9–15	Отм. +18,0м, рабочая площадка
Рудник-Г, ствол 5В	А	4	8–20	Отм. 0,0 м, рабочая площадка
Рудник-1, ламповые, механический цех	А	6	1,5–7,1	Слесарное отделение
Рудник-1, ствол 3Р	А	5	6,6–19	Отм. +18,0 м, рабочая площадка
Рудник-1, ствол 9К	А	6	2,1–17	Отм. +18,0 м, рабочая площадка
Рудник-2, АБК-1200	А	7	3,4–14	1 этаж, прачечная
Рудник-2, ствол 11В	А	6	5,1–9,6	Отм. +4,0 м, бункерная, рабочая площадка
Рудник-2, ствол 8К	А	6	3,9–29	Отм. +18,0 м, помещение сигналиста
Рудник-2, столовая №18	Б	2	11–19	Овощной цех
Рудник-2, участок по ремонту горно-шахтного оборудования	А	2	4,2–5,6	Слесарная мастерская
УГРУ, насосная шахтной воды	А	3	1,5–2,4	Рабочая площадка, отм. 0,0 м
УГРУ, Р-1, Р-Г, столовая	Б	3	1–1,7	Склад сырых продуктов
УГРУ, ремонтно-механический цех	А	1	4,6	
Участок ВШТ, АБК-2000	А	2	1,5–1,7	2 этаж, муж. гардеробная спецодежды
Участок ТВС и К, монтажа и ремонта горно-шахтного оборудования РМЦ	А	1	5,9	Верхний механический цех
Участок ЭМО	А	1	7,6	Ремонтная мастерская
Шахта 6Р, АБК-580	А	7	1,4–3,5	1 этаж, муж. гардеробная спецодежды
Шахта 6Р, ствол 11К	А	5	2,2–7,4	Отм.+15,0 м, рабочая площадка
Шахта 6Р ствол 6Р	А	3	3,6–6,2	Помещение машиниста подъема, отм. 0,0 м,
Шахта 6Р иные	А	2	3,0–4,2	Ламповая, помещение выдачи светильников и самоспасателей

ции – более высокие значения ОА устанавливаются в холодный период года – здесь можно наблюдать обратную тенденцию, т.е. в большинстве помещений более высокие значения ОА наблюдаются в теплый период. Наиболее вероятным фактором, определяющим соотношения ОА радона в помещениях в холодные и теплые периоды года, является вентиляция. Из табл. 1 видно, что в обследованных помещениях имеется вентиляция различных типов, причем преобладают приточно-механическая и естественная. Из этого следует, что основную роль в отмеченной особенности поведения радона в обследованных помещениях, по-видимому, играют особенности режима функционирования приточной вентиляции в зависимости от температуры воздуха и изменение направления и интенсивности естественных потоков воздуха. При этом нельзя исключить и сезонные особенности режима эксплуатации помещений. В любом случае это требует дополнительного изучения.

В табл. 2 приведены оценки потенциальных среднегодовых эффективных доз, полученные по результатам измерений ОА радона и мощности дозы гамма-излучения. Отметим, что в большинстве исследованных помещений (117) основной вклад в суммарную дозу (более 70 %) дает ингаляционное поступление радона и его дочерних радионуклидов, и только в 5 помещениях ГМЗ вклад в дозу от радона составляет менее 50 %.

Результаты, представленные в табл. 2, позволили обоснованно разделить обследованные помещения по классу условий труда при работах с источниками ионизирующего излучения в соответствии с критериями Руководства Р 2.2.2006-05 [8] (см. табл. 3).

В соответствии с п. 8.2 НРБ-99/2009 [7], работа с источниками излучения в условиях, когда максималь-

Таблица 3

Распределение обследованных помещений по классу условий труда при работе с источниками ионизирующего излучения

Класс условий труда	Критерий по потенциальной эффективной дозе, мЗв/год [4]	Количество помещений	
		Персонал группы А	Персонал группы Б
Допустимый – 2	≤ 5	75	14
Вредный – 3.1	>5–10	18	2
Вредный – 3.2	>10–20	13	1
Вредный – 3.3	>20–50	5	–

ные индивидуальные эффективные дозы при облучении в течение года в стандартных условиях могут превысить основные пределы доз, допускается только при проведении необходимых дополнительных защитных мероприятий, гарантирующих непревышение установленных пределов доз. Как видно из табл. 2, основные пределы доз могут быть превышены в пяти помещениях, где работает персонал группы А, и в трех помещениях, где работает персонал группы Б.

На остальных рабочих местах также должны применяться дополнительные защитные меры, удовлетворяющие принципу оптимизации «поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц».

В табл. 4 и 5 приведены сведения о режиме работы и наличии вентиляции в рабочих помещениях, где превышаются (или возможно превышение с учетом погрешности измерений) пределы доз для персонала А и Б соответственно. Как видно из приведенных данных, хотя все эти помещения, за исключением двух, оснащены вентиляционной системой, среднегодовые

Таблица 4

Характеристика рабочих мест персонала группы А максимальными потенциальными среднегодовыми эффективными дозами

Рабочее помещение	Тип вентиляции	Режим работы	Потенциальные среднегодовые эффективные дозы, мЗв	Вклад дозы от радона, %
Рудник-2, ствол 8К, отм. +18,0 м, помещение сигналиста	Приточная механическая	Круглосуточно	29	99
Рудник-2, ствол 8К, отм. +4,0 м, бункерная, рабочая площадка	Приточная механическая	Круглосуточно	26	94
Рудник-2, ствол 8К, отм. +18,0 м, рабочая площадка	Приточная механическая	Круглосуточно	24	97
ГМЗ, цех 3, здание 630А, отм. –5,0 м, площадка обслуживания пачуков поз. 1/5,6	Местная механическая + естественная	Круглосуточно	21	97
Рудник Г, ствол 5В, отм. 0,0 м, рабочая площадка	Естественная	Круглосуточно	20	96
Рудник Г, ствол 5В, отм. +3,0 м, помещение оператора пульта управления поверхностным шахтным комплексом	Приточная механическая	Круглосуточно	16	97
Рудник-1, ствол 3Р, отм. +18,0 м, рабочая площадка	Приточная механическая	Круглосуточно	19	93
Рудник-1, ствол 9К, отм. +18,0 м, рабочая площадка	Естественная	Круглосуточно	17	92

Таблица 5

Характеристика рабочих мест персонала группы Б с максимальными потенциальными среднегодовыми эффективными дозами

Рабочее помещение	Тип вентиляции	Режим работы	Потенциальные среднегодовые эффективные дозы, мЗв	Вклад дозы от радона, %
Рудник-2, столовая № 18, 1 этаж, овощной цех	Приточно-вытяжная механическая	Круглосуточно	16	99
Рудник-2, столовая № 18, 1 этаж, обвалочный цех	Приточно-вытяжная механическая	Круглосуточно	9,1	97
АТТ, АБК, 1 этаж, жен. гардеробная спецодежды, домашней одежды	Вытяжная механическая	Круглосуточно	9,0	97

эффективные дозы более чем на 90 % формируются в результате ингаляционного поступления радона и его дочерних радионуклидов. Следовательно, для снижения эффективной дозы облучения необходимо использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания.

В остальных помещениях с естественной вентиляцией суммарные среднегодовые дозы варьируются в пределах от 0,85 до 9,6 мЗв.

Максимальные неопределенности в оценке доз от радона по результатам длительных измерений ОА радона могут иметь место в помещениях, где персонал работает только в дневную смену. По полученным результатам, в таких помещениях, где работает персонал группы А, суммарные среднегодовые дозы варьируют в пределах от 1 до 7,6 мЗв. В помещениях, где персонал группы Б работает только в дневную смену, суммарные среднегодовые дозы не превышают 1,1 мЗв. Так как эти помещения оснащены вентиляционными системами, которые по окончании рабочей смены отключаются, что может привести к повышению ЭРОА радона в воздухе помещений, можно принять полученные оценки доз в качестве максимальной потенциальной среднегодовой эффективной дозы.

Выводы

Исследование радиационной обстановки на рабочих местах персонала ПАО ППГХО показало следующее:

1. В большинстве обследованных помещений, как связанных с добычей и обработкой урана, так и вспомогательных производств, основной вклад в среднегодовую эффективную дозу дает ингаляционное поступление радона и его дочерних продуктов (70–99 %). Только в нескольких помещениях цехов №1 и 2 Гидрометаллургического завода, связанных с переработкой урана, вклад внешнего гамма-излучения составляет около 50 %.

2. Объёмная активность радона в летний и весенние периоды до трёх раз выше в большинстве рабочих помещений на объектах ППГХО, чем в зимний период. ОА радона только в рабочих помещениях УГРУ практически не меняется в течение года. Основную роль в отмеченной особенности поведения радона в обследованных помещениях, по-видимому, играют особенности режима функционирования приточной вентиляции в зависимости от температуры возду-

ха и изменений направления и интенсивности естественных потоков воздуха. При этом нельзя исключить и сезонные особенности режима эксплуатации помещений.

3. Из 128 обследованных рабочих мест класс условий труда по радиационному фактору в 69,5 % рабочих мест характеризуется как допустимый (потенциальная доза менее 5 мЗв в год), в том числе на 75 рабочих местах персонала группы А и 14 рабочих местах персонала группы Б.

4. Среднегодовые дозы 20 мЗв могут быть превышены у персонала группы А, работающего в трех помещениях ствола 8К рудника-2, в одном помещении здания 630А гидрометаллургического завода и в одном помещении ствола 5В рудника Г. Условия труда в этих помещениях относятся к вредным условиям 3 степени 3 класса (3.3).

5. В рабочих помещениях персонала группы Б среднегодовые эффективные дозы 5 мЗв могут быть превышены в несколько раз в помещениях цехов столовой №18 и АБК рудника-2. Условия труда в двух помещениях относятся к вредным условиям 1 степени 3 класса (3.1), а в одном – 2 степени 3 класса (3.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт ППГХО http://www.priargunsky.armz.ru/enterprises_association.
2. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2011 г. Ежегодник. – Обнинск. 2012.
3. МВИ 2.6.1.003–99. Измерение объемной активности интегральным трековым методом в производственных, жилых и общественных помещениях.
4. Методика измерений «Радон. Измерение объемной активности в воздухе помещений интегральным трековым методом» (Свидетельство ФГУП ВНИИФТРИ № 40090.2И385 от 16.06.2012).
5. МУ 2.6.1. 037–2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности.
6. МУ 2.6.1.11–01. Организация радиационного контроля на урановых рудниках и расчет доз облучения персонала. Методические указания. – М. 2004.
7. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) от 02.07.2009. Зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534.
8. Р 2.2.2006–05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 29.06.2005 г.

DOI 10.12737/article_59f2f75e1cb220.73941126

Radiation Situation in Workplaces of the Personnel at the Ground Facilities of the Priargun Production Mountain Chemical Association

N.K. Shandala¹, A.M. Marenniy², D.V. Isaev¹, A.V. Titov¹, S.M. Kiselev¹, M.P. Semenova¹, N.A. Nephedov², V.I. Astaphurov², L.A. Zhuravleva³, M.A. Marenniy⁴, E.A. Khohlova⁵, V.V. Uiba⁶

1. A.I. Burnasyan Medical Biophysical Center Moscow, Russia. E-mail: titov_fmhc@mail.ru

2. Scientific and Technical Center of Radiation Chemical Safety and Hygiene Moscow, Russia

3. Center for Hygiene and Epidemiology No.107, Krasnokamensk, Russia

4. REI group of companies, Moscow, Russia

5. Inter-regional Management Center No.107 Krasnokamensk, Russia

6. Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia

N.K. Shandala – Science and Biophysical Technologies Deputy Director General, Dr. Sc. Med., Member of the Russian scientific commission radiological protection, Member of the Committee on Radiation Protection and Public Health Nuclear Energy Agency Organization for Economic Cooperation and Development, Member of International Radiation Protection Association;

A.M. Marenniy – professor, Dr. Sc. Phys.-Math., Head of Lab., Member of the European Union of Radiologists, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences;

D.V. Isaev – Researcher, Member of International Radiation Protection Association;

A.V. Titov – Senior Researcher, Member of International Radiation Protection Association; /

S.M. Kiselev – PhD Biol., Leading Researcher, Member of International Radiation Protection Association (IRPA);

M.P. Semenova – Senior Researcher, Member of International Radiation Protection Association (IRPA);

N.A. Nephedov – PhD Phys.-Math., Leading Researcher;

V.I. Astaphurov – Associate Prof., PhD Chem., Leading Researcher, Prof.;

L.A. Zhuravleva – Chief Medical;

M.A. Marenniy – PhD Econ., Chief Engineer REI group of companies;

E.A. Khohlova – Head Inter-regional Management Center No.107 of FMBA of Russia;

V.V. Uiba – Head of Federal Medical Biological Agency of Russia, Dr. Sc. Med., Prof.

Abstract

Purpose: To obtain data of radiation survey in workplaces of the personnel of the Priargun Production Mountain Chemical Association (OJSC PPMCA), who work at the premises of the ground facilities.

Material and methods: In the course of the radiation survey integral track methods were used to measure radon activity concentration by REI-1 track cameras of the TRACK-REI-1M kit.

To assess the activity balance factor between radon and its radionuclide progenies, short term measurements of radon activity concentration (AC) and effective equilibrium concentration (EEC) of radon by handle radiometers of radon and its progenies. Gamma dose rate was measured by handle dosimeters.

Results: Annual AC, EEC and effective dose due to radon and external gamma exposures in workplaces at the ground facilities of OJSC PPMCA have been obtained. Total number of the inspected workshops is 138, including 121 workshops occupied by the A group personnel, and 17 – by the B group personnel.

Conclusions: It was shown that annual doses 20 mSv could be exceeded for the A group personnel who work at three workshops shaft 8K of the mine-2, one workshop of building 630A of the Hydro-metallurgical Plant and one workshop of shaft 5B of G mine.

In the workshops of the B group personnel, 5 mSv annual effective doses can be exceeded 2 and more times at the premises of canteen number 18 and administrative domestic building of mine-2.

Key words: *staff, radiation survey, radon, ventilation, gamma radiation, inhalation intake, class of work conditions, workplace, mine, effective dose*

REFERENCES

1. Sajt PPGHO http://www.priargunsky.armz.ru/enterprises_association/.
2. Radiacionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nyh gosudarstv v 2011 godu. Ezhegodnik. – Obninsk. 2012
3. MVI 2.6.1.003–99. Izmerenie ob'emnoj aktivnosti integral'nym trekovym metodom v proizvodstvennyh, zhilyh i obshchestvennyh pomeshcheniyah.
4. Metodika izmerenij «Radon. Izmerenie ob'emnoj aktivnosti v vozduhe pomeshchenij integral'nym trekovym metodom» (Svidetel'stvo FGUP VNIIFTRI № 40090.2I385 16.06.2012).
5. MU 2.6.1. 037 – 2015. Opreделение srednegodovyh znachenij EHROA izotopov radona v vozduhe pomeshchenij po rezul'tatam izmerenij raznoj dlitel'nosti.
6. MU 2.6.1.11–01. Organizaciya radiacionnogo kontrolya na uranovyh rudnikah i raschet doz oblucheniya personala. Metodicheskie ukazaniya. – M. 2004.
7. SanPiN 2.6.1.2523-09 Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009).
8. P 2.2.2006-05 Rukovodstvo po gigienicheskoj ocenke faktorov rabochej sredy i trudovogo processa. Kriterii i klassifikaciya uslovij truda. Utverzhdeno Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom Rossijskoj Federacii G.G.Onishchenko 29.06. 2005.

DOI 10.12737/article_59f2f93b8906c4.36666437

В.И. Рубцов, В.Н. Клочков, А.Ю. Нефедов, Л.И. Тюнеева, Е.В. Клочкова, А.Б. Требухин
ОРГАНИЗАЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПРОЦЕДУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОНУКЛИДНЫХ
И ГЕНЕРИРУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: siz-fmbc@mail.ru

В.И. Рубцов – зав. лабораторией, д.т.н.; В.Н. Клочков – в.н.с., д.т.н.; А.Ю. Нефедов – с.н.с., к.м.н.; Л.И. Тюнеева – с.н.с.;
Е.В. Клочкова – н.с.; А.Б. Требухин – в.н.с., к.т.н.

Реферат

Цель: Совершенствование радиационной защиты медицинского персонала и пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения.

Материал и методы: С использованием разработанной ранее концепции организации индивидуальной защиты персонала и пациентов в центрах ядерной медицины осуществлен анализ условий труда персонала и оценена возможность использования различных средств индивидуальной защиты. В соответствии с методиками, изложенными в действующих российских стандартах, проведены испытания образцов выпускаемой российской промышленностью средств индивидуальной защиты (СИЗ), пригодных для использования персоналом и пациентами центров ядерной медицины.

Результаты: Представлены результаты испытаний в лабораторных условиях новых образцов перспективных высокоэффективных СИЗ различного назначения для защиты медицинского персонала и пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения. Разработаны учебно-методические и руководящие документы – «Учебно-методическое пособие по организации индивидуальной защиты при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения» для различных кафедр Института последипломного профессионального образования ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и «Руководство по обеспечению индивидуальной защиты медицинского персонала и пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения».

Выводы: В результате выполненной работы и проведенных исследований подготовлены Учебно-методическое пособие и Руководство по индивидуальной защите медицинского персонала и пациентов центров ядерной медицины при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения, а также проект типовых норм выдачи бесплатных СИЗ медицинскому персоналу.

Ключевые слова: ядерная медицина, персонал, пациенты, внешнее и внутреннее облучение, радионуклиды, средства индивидуальной защиты

Поступила: 21.10.2017. Принята к публикации: 21.09.2017

Введение

Медицинское диагностическое облучение в последние годы является основным фактором радиационного воздействия на население. Вклад медицинского облучения в общую коллективную дозу за счет техногенных источников ионизирующего излучения (ИИИ) населения развитых стран составляет более 95 % [1]. Развитие новых методов высокой информативности в рентгеновской и радионуклидной диагностике, в частности компьютерной томографии (КТ) и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), сопровождается значительными дозами облучения пациентов, поэтому медицинское облучение является особой категорией облучения, для которого принцип оптимизации является наиболее актуальным [2–4]. Проблема обеспечения радиационной безопасности персонала и пациентов при медицинском диагностическом облучении постоянно рассматривается в основных документах МАГАТЭ [5, 6].

В России в настоящее время создается федеральная сеть центров ядерной медицины, в том числе и в рамках системы медико-диагностических центров ФМБА России. Проблема эффективной радиационной защиты медицинского персонала и пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения является актуальной задачей. Одним из важных способов обеспечения безопасности персонала является применение

средств индивидуальной защиты (СИЗ). В настоящей работе на основе имеющегося большого опыта исследований в области обеспечения индивидуальной защиты персонала при работе с ионизирующими излучениями и радиоактивными веществами в атомной промышленности сформулированы, обоснованы и апробированы основные принципы обеспечения индивидуальной защиты персонала и пациентов центров ядерной медицины.

Материал и методы

Основные принципы и концепция организации индивидуальной защиты персонала и пациентов в центрах ядерной медицины изложены нами ранее [7]. В этой статье было показано, что принимая во внимание трудности контроля доз облучения персонала, необходимо сосредоточить основные усилия на защите персонала от внешнего облучения и поступления радионуклидов в организм. При этом необходимо учитывать, что средства индивидуальной защиты (СИЗ) медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения целесообразно применять только в тех случаях, когда применение других технических, организационных (защита временем, расстоянием, зонированием помещений) мероприятий, а также коллективных средств защиты ограничено или вообще невозможно. Основным требованием к при-

меняемым СИЗ является минимальное воздействие на физиологические системы медицинского работника, минимальное ограничение полей зрения, минимально снижение тактильной чувствительности пальцев рук. Т.е. СИЗ должны минимально затруднять проведение медицинским персоналом диагностических и лечебных процедур.

Медицинское облучение пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения (прежде всего, комбинированных ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ-сканеров) является своеобразным «побочным отрицательным эффектом» в необходимом и положительном процессе диагностики различных заболеваний. В то же время профессиональное облучение медицинского персонала, проводящего указанные диагностические обследования, является несомненным отрицательным эффектом, не имеющим положительных сторон. Поэтому доза медицинского диагностического облучения пациентов должна снижаться с учетом соотношения «польза (уточнение диагноза) – вред (отрицательные последствия облучения)». Доза профессионального облучения медицинского персонала должна минимизироваться всеми существующими методами, в том числе применением эффективных СИЗ.

Защита персонала центров ядерной медицины от прямого и рассеянного излучения рентгеновских аппаратов, облучательских установок на основе радионуклидных источников или ускорителей заряженных частиц обеспечивается штатными коллективными системами биологической защиты и не требует дополнительных защитных мероприятий сверх предусмотренных регламентом их эксплуатации организационных мероприятий. Применение радиационно-защитных СИЗ в этих ситуациях бесперспективно или нецелесообразно, за исключением некоторых видов СИЗ от воздействия бета-излучения или мягкого фотонного излучения.

Организация индивидуальной защиты персонала центров ядерной медицины должна учитывать следующие особенности условий труда при проведении радионуклидной диагностики и терапии:

- Радионуклиды используются в химических формах, которые легко усваиваются организмом человека и быстро накапливаются в отдельных органах-мишенях. За счет этого достигаются максимальные дозовые коэффициенты для радионуклидов, что приводит к формированию максимальных доз облучения в расчете на единицу поступления радионуклида.
- Применение короткоживущих радионуклидов с периодом полураспада от нескольких часов до нескольких суток. В этих условиях крайне затруднены контроль объемной активности радионуклидов в воздухе и контроль поступления радионуклидов в организм персонала.
- Необходимо обеспечить минимальное воздействие СИЗ на физиологические системы медицинского работника, т.е. минимальное ограничение полей зрения, минимальное снижение тактильной чувстви-

тельности пальцев рук. СИЗ должны минимальным образом затруднять проведение медицинским персоналом диагностических и лечебных процедур.

- Невозможность индивидуального контроля доз внутреннего облучения.

Отмеченные особенности воздействия радиационных факторов приводят к необходимости применения СИЗ органов дыхания и кожных покровов по принципу превентивного применения, или принципу избыточной защиты.

Результаты и обсуждение

Для практической реализации концепции организации индивидуальной защиты персонала и пациентов в центрах ядерной медицины разработано «Руководство по обеспечению индивидуальной защиты медицинского персонала и пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения».

В руководстве представлены основные радиационные факторы, воздействующие на медицинский персонал и пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения, а также показана ограниченная возможность применения СИЗ для защиты от внешнего фотонного и нейтронного облучения и облучения протонами. Проанализированы возможные происшествия, нештатные и аварийные ситуации. Изложены особенности организации радиационной защиты персонала и пациентов, а также показана роль СИЗ в общем комплексе мероприятий по уменьшению воздействия на человека вредных и (или) опасных факторов внешнего облучения, а также для защиты от несанкционированного воздействия радионуклидов.

Физико-технические и медико-биологические ограничения применения СИЗ для защиты от внешнего облучения медицинского персонала и пациентов обеспечиваются, в первую очередь, системами биологической защиты, созданными в соответствии с техническими характеристиками облучательской установки. Значительная неоднородность радиационных полей требует контроля дозы облучения различных частей тела медицинского персонала, в первую очередь хрусталика глаза и кистей рук.

Представляется очень важной оценка химических форм радионуклидов, создающих условия для повышенного всасывания, наличия летучих соединений радионуклидов, имеющих повышенную радиобиологическую опасность. За счет этого возможно увеличение дозовых коэффициентов.

Важным элементом системы индивидуальной защиты персонала центров ядерной медицины является зонирование рабочих помещений, установление санитарно-пропускного режима, соблюдение правил работы с открытыми радиоактивными веществами. Актуальной является защита временем (т.е. ограничением времени работы в повышенных полях излучения)

и расстоянием до источника излучения (с увеличением расстояния от источника до медицинского работника).

С учетом анализа особенностей применения СИЗ на различных этапах проведения диагностических и лечебных процедур и уходе за пациентами сформулирован основной принцип использования СИЗ – выбор оптимального соотношения между показателями защитной эффективности и их физиологической приемлемостью. Должен действовать принцип «разумной достаточности» применения комплекта СИЗ медицинским персоналом при его контакте с пациентами.

В руководстве описаны комплекты СИЗ для повседневной штатной работы, а также при работе в аварийных ситуациях, методы индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения, конкретные места размещения дозиметров. Изложен также порядок проведения дезактивационных мероприятий кожных покровов, сбора и промежуточного хранения радиоактивных отходов.

СИЗ могут обеспечить максимальный защитный эффект только при их правильном применении. Для этого работники организаций и предприятий должны владеть информацией о современных, высокоэффективных, физиологически приемлемых СИЗ. С целью проведения обучения разработано «Учебно-методическое пособие по организации индивидуальной защиты при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения» для различных кафедр института последипломного профессионального образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

В учебно-методическом пособии представлена современная нормативно-методическая база по СИЗ различных типов и классов, сертифицированных в соответствии с нормативными документами Таможенного союза и с российским законодательством. Представлен перечень нормативных документов, регламентирующих качество и безопасность СИЗ и условия их применения.

В пособие включены СИЗ, серийный выпуск которых освоен промышленностью, СИЗ, выпускаемые малыми партиями, и перспективные, подготовленные к промышленному выпуску.

В Пособии приведены основные учебно-методические материалы, предназначенные для систем повышения квалификации и получения специального последипломного профессионального образования в системе ФМБА России, в частности:

- основные вредные и опасные факторы при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием источников ионизирующего излучения;
- основные виды диагностических и лечебных процедур с применением методов ядерной медицины; дозиметрическое обеспечение деятельности центров ядерной медицины;
- особенности радиационного воздействия радионуклидов, применяемых при проведении диагностических и лечебных процедур;

- нормативно-правовая база по обеспечению радиационной безопасности и использованию СИЗ в Центрах ядерной медицины;
- особенности применения СИЗ на различных этапах проведения диагностических и лечебных процедур и уходе за пациентами;
- правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими СИЗ;
- санитарная обработка кожных покровов;
- дезактивации поверхностей помещений и СИЗ.

В ходе выполнения исследований проведены испытания образцов выпускаемых российской промышленностью СИЗ, пригодных для использования персоналом и пациентами центров ядерной медицины. Результаты испытаний позволили сделать вывод, что СИЗ, выпускаемые в России, могут успешно использоваться персоналом центров ядерной медицины как при повседневной деятельности, так и в условиях вероятных нештатных и аварийных ситуаций.

С учетом положительных результатов оценки рекомендованы для использования персоналом центров ядерной медицины следующие образцы СИЗ:

При повседневной деятельности:

1. Противоаэрозольные фильтрующие полумаски медицинского назначения:

- серия СПИРО-100 – горизонтально-складывающаяся фильтрующая полумаска;
- серия СПИРО-200 – вертикально-складывающаяся фильтрующая полумаска;
- серия СПИРО-300 – формованная полусферическая фильтрующая полумаска.

Полумаски каждой серии выпускаются в двух вариантах – без клапана или с клапаном выдоха.

2. СИЗ рук – резиновые одноразовые, изготовленные из латекса на основе натурального каучука:

- перчатки резиновые хирургические, ГОСТ 3-88;
- перчатки медицинские диагностические одноразовые, ГОСТ Р 52239-2004 (ИСО 11193-1:2002)
- перчатки анатомические латексные ТУ 2514-066-00149498-98;
- напальчники медицинские резиновые, ТУ 38.106457-88.

При ликвидации последствий возможных нештатных и аварийных ситуаций:

1. Обувь специальная дополнительная из ламинированных нетканых материалов (ТУ 6968-003-25372814-2011 с Изменениями №№ 1-6) с подошвой из поливинилхлоридного плёночного материала ТУ 87 21-004-00302480-93 толщиной 0,7 мм и комбинированным верхом.

2. Дополнительные СИЗ от радиоактивных и химически токсичных веществ: комбинезон, куртка, полукombineзон, брюки, полухалат, фартук и на рукавники, изготовленные из ламинированного полиэтиленовой плёнкой толщиной 60 мкм (0,06 мм) материала Спанбонд с поверхностной плотностью полипропиленовой нетканой основы для ламинирования (40–60) г/м² (ТУ 8390-157-00204027-2009).

Комплект СИЗ медицинского персонала должен формироваться из условия разумной достаточности.

Для оптимизации радиационной защиты необходимо применение новых высокоэффективных СИЗ различного назначения на основе выбора оптимального соотношения между их физиологической приемлемостью и защитной эффективностью.

Для юридического обеспечения возможности приобретения центрами ядерной медицины необходимых эффективных СИЗ разработан проект «Типовых отраслевых норм выдачи сертифицированных высокоэффективных дополнительных средств индивидуальной защиты медицинскому персоналу при внедрении и реализации новых медицинских радиологических технологий».

При разработке данных норм учитывалось, что перечень СИЗ медицинских работников напрямую зависит от их специализации и условий труда. Так, врачам, среднему и младшему медицинскому персоналу, работающему в рентгеновских и радиологических отделениях (кабинетах), помимо стандартного набора СИЗ полагается дежурный комплект спецсредств для работы с ионизирующим излучением – перчатки и фартук из радиационно защитных материалов, очки и влагозащитный фартук.

Работодатель может разработать на основе типовых норм собственный перечень СИЗ медицинских работников, добавляя к стандартному списку любые другие виды СИЗ на свое усмотрение. Готовый перечень следует утвердить локальным нормативным актом и отразить в коллективном договоре. В типовой список спецсредств обычно включают: антибактериальные бахилы; хлопчатобумажные перчатки; латексные (синтетические) перчатки; защитные очки; защитные щитки и экраны для глаз и лица; влагозащитные и просвинцованные фартуки; антибактериальные костюмы; резиновые перчатки для работы с агрессивными жидкостями; пластиковые фартуки; нарукавники; одноразовые маски; защитную обувь; противоаэрозольные средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Заключение

В результате выполненной работы и проведенных исследований подготовлены Учебно-методическое пособие и Руководство по индивидуальной защите медицинского персонала и пациентов центров ядерной медицины при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидных и генерирующих источников ионизирующего излучения, а также проект типовых норм выдачи бесплатных СИЗ медицинскому персоналу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1. Annex A. Medical Radiation Exposures. – United Nations. New York. 2010.
2. Наркевич Б.Я., Костылев В.А. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в современной радионуклидной диагностике. // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2009. Т. 54. № 2. С. 166–167.
3. Наркевич Б.Я., Костылев В.А., Левчук А.В. и соавт. Радиационная безопасность в медицинской радиологии. Часть 3. Обеспечение радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2009. Т. 54. № 4. С. 14–24.
4. Mettler F.A. et al. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog // Radiology. 2008. Vol. 248. № 1. P. 254–263.
5. Радиологическая защита при медицинском облучении ионизирующим излучением. Руководство по безопасности. Серия норм безопасности. № RS-G-1. МАГАТЭ, Вена. 2004.
6. Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности. МАГАТЭ. Вена. TI/PUB/1578. 2015.
7. Рубцов В.И., Клочкин В.Н., Суровцев Н.А. и соавт. Совершенствование радиационной защиты медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2016. Т. 61. № 1. С. 17–21.

DOI 10.12737/article_59f2f93b8906c4.36666437

Organization of Personnel Individual Protection Conducting Diagnostic and Treatment Procedures Using Radionuclide and Generating Sources of Ionizing Radiation

V.I. Rubtsov, V.N. Klochkov, A.Yu. Nephedov, L.I. Tyuneeva, E.V. Klochkova, A.B. Trebukhin

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia. E-mail: siz-fmbc@mail.ru

V.I. Rubtsov – Head of Laboratory, Dr. Sc. Tech.; V.N. Klochkov – Leading Researcher, Dr. Sc. Tech.;

A.Yu. Nephedov – Senior Researcher, PhD Med.; L.I. Tyuneeva – Senior Researcher; E.V. Klochkova – Research Officer;

A.B. Trebukhin – Leading Researcher, PhD Tech.

Abstract

Purpose: To improve radiation safety of medical staff and patients during diagnostic and treatment procedures with using of radionuclide radiation sources.

Material and methods: Staff working conditions have been analyzed and the potential for using of various personal protective equipment has been assessed based on the developed framework of personal protection of medical staff and patients at nuclear medicine centers. In accordance with methods described in the current Russian standards, specimens of personal protective equipment manufactured at Russian industrial plants and suitable for use by medical staff and patients at nuclear medicine centers have been tested.

Results: Results of laboratory tests of new advanced high-performance personal protective equipment of various purposes for protection of medical staff and patients during diagnostic and treatment procedures with using of radiation sources are provided. Training and information documents and guidelines have been developed, including “Study guide on personal protection during diagnostic and treatment procedures with using of radionuclides and ionizing radiation sources” for various departments of the Institute of Continuing Vocational Education, in A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia, and “Guidelines on personal protection of medical staff and patients during diagnostic and treatment procedures with using of radionuclides and ionizing radiation sources”.

Conclusion: Study guide and Guidelines on personal protection of medical staff and patients at nuclear medicine centers during diagnostic and treatment procedures with using of radionuclide radiation sources, as well as the draft of the Standard guidelines on delivery of free personal protective equipment to medical staff have been developed based on the results of work and studies.

Key words: nuclear medicine, staff, patients, external and internal exposure, radionuclides, personal protective equipment

REFERENCES

1. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1. Annex A. Medical Radiation Exposures. – United Nations. New York. 2010.
2. Narkevich B.Ya., Kostylev V.A. Problemy obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti v sovremennoy radionuklidnoy diagnostike. // Med. Radiol. i Radiat. bezopasnost. 2009. Vol. 54. № 2. P. 166–167.
3. Narkevich B.Ya., Kostylev V.A., Levchuk A.V. et al. Radiatsionnaya bezopasnost v meditsinskoy radiologii. Chast 3. Obespecheniye radiatsionnoy bezopasnosti personala. naseleniya i okruzhayushchey sredy // Med. Radiol. i Radiat. bezopasnost. 2009. Vol. 54. № 4. P. 14–24.
4. Mettler. F.A. et al. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog // Radiology. 2008. Vol. 248. № 1. P. 254–263.
5. Radiologicheskaya zashchita pri meditsinskom obluchenii ioniziruyushchim izlucheniym. Rukovodstvo po bezopasnosti. Seriya norm bezopasnosti. № RS-G-1. IAEA. 2004.
6. Radiatsionnaya zashchita i bezopasnost istochnikov izlucheniya: mezhdunarodnyye osnovnyye normy bezopasnosti. MAGATE. Vena.
7. Rubtsov V.I., Klochkov V.N., Surovtsev N.A. et al. Sovershenstvovaniye radiatsionnoy zashchity meditsinskogo personala pri provedenii diagnosticheskikh i lechebnykh protsedur s ispolzovaniyem radionuklidov i istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya // Med. Radiol. i Radiat. bezopasnost. 2016. Vol. 61. № 1. P. 17–21.

DOI 10.12737/article_59f2fc0812bc46.45377149

А.Д. Рыжков, А.С. Крылов, С.В. Ширяев, Я.А. Щипахина, Н.В. Кочергина**ПРЕИМУЩЕСТВО КОМБИНИРОВАННОЙ ОФЭКТ/КТ
В ДИАГНОСТИКЕ МЕТАСТАЗОВ В КОСТЯХ**

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ, Москва.
E-mail: krilovas@rambler.ru

А.Д. Рыжков – с.н.с., д.м.н.;

А.С. Крылов – врач-радиолог, к.м.н., член Европейской ассоциации ядерной медицины и молекулярной визуализации;

С.В. Ширяев – зав. лаб., д.м.н., проф., президент Онкологического общества молекулярной визуализации РФ, член Европейской ассоциации ядерной медицины и молекулярной визуализации, член Американской коллегии ядерной медицины и молекулярной визуализации, член Общества ядерной медицины и молекулярной визуализации (США);

Я.А. Щипахина – н.с., к.м.н.; Н.В. Кочергина – в.н.с., д.м.н., проф.

Реферат

Цель: Определить диагностические возможности комбинированного метода однофотонной эмиссионной томографии/компьютерной томографии (ОФЭКТ/КТ) у больных с метастазами в костях в сравнении с наиболее часто используемым скрининговым методом планарной остеосцинтиграфии (ОСГ).

Материал и методы: 67 больных с метастазами в костях рака молочной железы, рака предстательной железы и других опухолей. Сначала проводилась ОСГ, затем ОФЭКТ/КТ.

Результаты: Больные разделены на 2 группы: с множественными и единичными метастазами. ОФЭКТ/КТ показала большую эффективность в выявлении метастазов в костях, чем ОСГ. При ОСГ полное выявление метастазов в костях составило в двух группах соответственно от 31 до 56 % по сравнению с данными ОФЭКТ/КТ. В ряде случаев (в обеих группах соответственно 4 и 9,5 % в зависимости от количества метастазов и их локализации) ОСГ оказалась не информативна, зафиксировано отсутствие очагов поражения.

Выводы: ОФЭКТ/КТ позволяет улучшить точность диагностики метастатического поражения скелета.

Ключевые слова: метастазы в костях, ОФЭКТ/КТ, остеосцинтиграфия

Поступила: 12.04.2017. Принята к публикации: 12.07.2017

Введение

Современная диагностика состояния костной системы располагает различными методами визуализации, которые можно разделить на две группы.

Первая группа включает в себя анатомо-топографические методы. Это рентгенография (Рг), рентгеновская компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), позволяющие непосредственно отображать патологические процессы, связанные с нарушением структуры кости. Богатая и хорошо изученная семиотика дает возможность не только выявить деструкцию, но и провести дифференциальную диагностику заболеваний.

Вторая группа включает функциональные методы, в частности, методы радионуклидной диагностики – планарную остеосцинтиграфию (ОСГ), однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (ОФЭКТ), позитронную эмиссионную томографию (ПЭТ). Эти методы основаны на включении остеотропных радиофармпрепаратов (РФП) в костную ткань. Степень накопления РФП зависит от интенсивности течения метаболических процессов. По изменению уровня накопления РФП по сравнению с физиологическим судят о наличии патологического процесса в том или ином отделе скелета.

За последние 15 лет в клиническую практику активно вошли гибридные технологии, в которых совмещены методы функциональной и структурной визуализации: ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ, ОФЭКТ/КТ [1–6]. Отличительной особенностью гибридных систем является совмещение данных анатомо-топографической визуализации с пространственным накоплением радиофармпрепарата в исследуемой области тела пациен-

та. Это даёт возможность получения одновременной функционально-структурной оценки исследуемых органов или тканей. Значительные успехи в применении совмещённых методов функциональной и структурной визуализации предопределили развитие ОФЭКТ/КТ-систем, занявших в короткое время прочные позиции в ряду диагностических процедур. На сегодня главными областями применения гибридных технологий являются онкология, кардиология и неврология.

Литературные данные по диагностике метастазов в костях довольно противоречивы. Обобщённые данные различных источников приведены в табл. 1.

По данным литературных источников, наиболее информативными методами в выявлении метастазов в костях на сегодняшний момент являются ПЭТ/КТ (ПЭТ/МРТ), а также МРТ [3, 11]. Однако ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ по причинам дороговизны и недостаточной распространённости не могут быть массово применены. Временные затраты, а также объективные противопоказания для проведения МРТ (наличие в организме металлоконструкций и т.д.) также не позволяют использовать данный метод широко и быстро.

В то же время, применение нового уточняющего метода, не требующего дополнительной подготовки, выполняемого при необходимости, что называется, не снимая пациента со стола, может быть диагностически и экономически очень эффективным. До 67 % заключений по планарной остеосцинтиграфии (ОСГ) может быть пересмотрено по результатам ОФЭКТ/КТ [12].

Целью настоящего исследования стало определение диагностических возможностей ОФЭКТ/КТ у больных с метастазами в костях в сравнении с наиболее часто используемым скрининговым методом ОСГ.

Таблица 1

Сравнительные результаты выявления метастазов в костях по данным различных инструментальных методов исследования

Авторы	Дизайн исследования	Сравниваемые методы инструментальной диагностики	Результаты	
			Чувствительность, %	Специфичность, %
Haraldsen A. 2014 [7]	38 больных раком молочной железы с метастазами в кости	ОСГ ОФЭКТ ОФЭКТ/ldKT* ОФЭКТ/cdKT+MPT**	87 87 79 84	63 71 63 83
Palmedo H. 2014 [8]	72 больных раком молочной и предстательной желез с метастазами в кости	ОСГ ОФЭКТ ОФЭКТ/ldKT	93 94 97	78 71 94
Ahmadzadehfah H. 2012 [9]	101 больной с разными злокачественными образованиями и метастазами в кости	ОСГ ОФЭКТ ОФЭКТ/ldKT	86 87 88	71 78 91
Qiu Z.L. 2012 [2]	80 больных с дифференцированным раком щитовидной железы и метастазами в кости	ОСГ ОФЭКТ/ldKT ¹⁸ F-ФДГ-ПЭТ/КТ	79,07 93,02 86,05	83,08 97,30 94,59
Savelli G. 2001 [10]	118 больных с разными злокачественными образованиями и метастазами в кости	ОФЭКТ***	90,5 (100)****	92,8 (95,3)****

Примечания:

* ld – низкодозовая компьютерная томография

**cd – компьютерная томография с контрастированием и проспективным проведением МРТ в тот же день;

*** – в сравнении с комплексом радиологических процедур (рентгенографии, КТ, МРТ);

**** – для метастазов рака молочной железы

Материал и методы

Материалом для исследования послужили данные обследований 67 больных с метастазами в костях, проходивших лечение в РОНЦ им. Н.Н. Блохина, из них 45 – больные с метастазами рака молочной железы, 11 – рака предстательной железы, 2 – лимфомы, 2 – рака почки, 1 – меланомы, 1 – рака лёгкого, 1 – рака гортани, 1 – саркомы, 1 – мягкотканной опухоли шеи, 2 больных с метастазами злокачественных опухолей без выявленного первичного очага.

Обследования пациентов проводились в два этапа. Первым этапом проводилась планарная сцинтиграфия в режиме всего тела через 3 ч после внутривенного введения остеотропного радиофармпрепарата (РФП), меченного ^{99m}Tc (технефор или фосфотех). Сцинтиграфия всего тела проводилась в положении больного лежа на спине с использованием коллиматора низких энергий фотонного излучения с высоким разрешением (LEHR). Использовалась гамма-камера Symbia E или T2 фирмы Siemens. Вводимая активность варьировалась в зависимости от массы тела пациента и находилась в диапазоне 444–740 МБк. Эффективная доза составила от 2,5 до 4,2 мЗв. Регистрация импульсов проводилась на энергетическом пике 140 кэВ. Продолжительность планарного сцинтиграфического исследования составляла 13–15 мин (время движения стола 15 см/мин). После получения сцинтиграфического изображения всего тела производилась визуальная оценка полученного изображения с целью определения размеров и локализации очагов патологического накопления РФП.

Вторым этапом проводили ОФЭКТ/КТ выбранной зоны интереса, после чего получали эмиссионные радионуклидные и трансмиссионные рентгеновские томограммы исследуемого участка тела, а также совмещённые изображения (fusion). Исследования выполнялись на комбинированной ОФЭКТ/КТ системе

Symbia T2 фирмы Siemens с 2-срезовой конфигурацией КТ (толщина среза 5 мм, шаг спирали 1,5 мм, размер фокусного пятна согласно IAC 60 360 0,8×0,4 мм/8°, 0,8×0,7 мм/8°). Использовались следующие параметры ОФЭКТ: матрица 128×128, 64 угловые позиции при вращении детекторов, время записи на один угол вращения составило 10 с.

Эффективная доза (ЭД) для КТ рассчитывалась по формуле $E = CTDI \times L \times K_1 \times K_2$, где CTDI – объёмный взвешенный индекс дозы, L – длина сканирования в см, K₁ – поправка возраст пациента, K₂ – поправка на область исследования (см. МУ 2.6.1.3151-13). Эффективная доза облучения составляла от 1,14 до 2,01 мЗв на 1 область исследования.

Интерпретация результатов ОФЭКТ/КТ проводилась по стандартной методике с использованием пакета программ Syngo 2009A независимо двумя сертифицированными специалистами – радиологом и рентгенологом.

Проводился анализ эмиссионных томограмм в сопоставлении с рентгеновскими томограммами, а также изображений серии fusion. При просмотре эмиссионных томограмм велся поиск очагов повышенного и пониженного накопления РФП, определялся и характер накопления РФП в областях изображения изменённых костей.

При анализе рентгеновских компьютерных томограмм проводилась оценка структуры костей исследованной зоны с целью выявления морфологической перестройки. Особое внимание уделялось анализу участков повышенного накопления РФП по данным эмиссионных томограмм.

Результаты и обсуждение

Все больные, включённые в исследование (n = 67), были разделены на 2 группы: больные с количеством

Таблица 2

Выявляемость множественных костных метастазов в скелете (более 20 очагов у каждого больного) с помощью различных диагностических технологий

Метод	ОСГ			ОФЭКТ		КТ		Всего больных
Вариант поражения	Отсутствие очагов	Частичное выявление очагов	Полное выявление очагов	Частичное выявление очагов	Полное выявление очагов	Частичное выявление очагов	Полное выявление очагов	
Пациентов, $n = 25$	1	10	14	1	24	1	24	25
%	4	40	56	4	96	4	96	100

Таблица 3

Выявляемость метастазов в кости в группе пациентов, у каждого из которых количество метастазов не превышало 20, с помощью различных диагностических технологий

Метод	ОСГ				ОФЭКТ				КТ ($n < 42$)		
Вариант поражения	Нет очагов	Частичное выявление очагов	Полное выявление очагов	Дополнительные очаги неопухоловой этиологии	Нет очагов	Частичное выявление очагов	Полное выявление очагов	Дополнительные очаги неопухоловой этиологии	Нет очагов	Частичное выявление очагов	Полное выявление очагов
Пациентов $n < 42$	4	25	13	9	–	8	34	5	–	4	38
%	9,5	59,5	31	21,4	0	19	81	11,9	0	9,5	90,5

метастазов более 20 (табл. 2) и больные с количеством метастазов менее 20 (табл. 3).

При обследовании у 25 больных были выявлены множественные метастазы, число которых превышало 20. Сравнение результатов разных методов диагностики в этих случаях проводилось по отделам скелета: череп, рёбра, анатомические отделы позвоночника, кости таза, лопатки, грудина, ключицы, конечности.

Из 25 пациентов только у 14 результаты ОСГ и ОФЭКТ/КТ совпали по количеству выявленных зон поражения (табл. 2). При ОСГ в первом случае картина оставалась нормальной, в 10 случаях количество выявленных очагов значительно уступало количеству очагов, обнаруженных при ОФЭКТ/КТ. Таким образом, полное выявление метастатических очагов при ОСГ

отмечено в 14 (56 %) случаях. В 10 случаях (40 %) ОСГ оказалась в диагностическом плане недостаточным методом и в одном случае (4 %) – неинформативным методом.

У 23 больных совпали между собой данные ОФЭКТ и КТ (оценены отдельно). В двух случаях зафиксировано расхождение: в одном случае при КТ были выявлены дополнительные мелкие (5 мм и менее) метастазы в поясничном отделе позвоночника при нормальной картине ОФЭКТ. В другом случае при КТ отмечено только подозрение на поражение костной ткани при лимфоме, заключавшееся в картине неоднородности костной структуры при однозначной картине очагового поражения на ОСГ и ОФЭКТ в виде выраженной гипераккумуляции РФП – метастатическое поражение

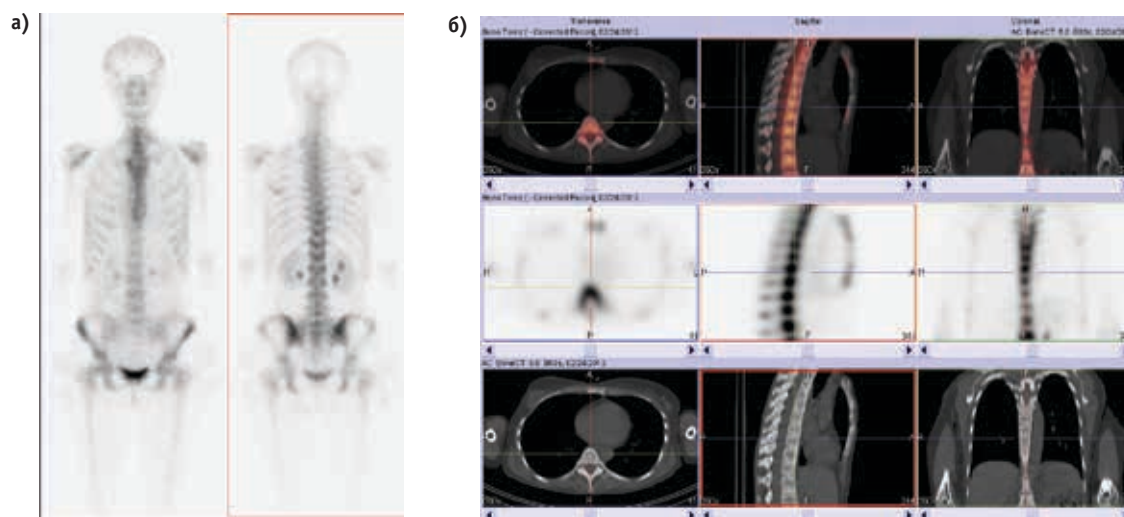


Рис. 1. Исследование костной системы больной с диагнозом: рак молочной железы, состояние после комбинированного лечения по поводу первичной опухоли, метастазы в костях. На планарных остеосцинтиграммах (а) определяется неравномерное накопление РФП в позвоночнике, плечевых и тазобедренных суставах. Убедительных признаков наличия очагов, характерных для неопластического поражения, не выявлено. На реконструированных и совмещенных срезах ОФЭКТ/КТ (б) отмечается мелкоочаговое, сливное поражение практически всех позвонков на уровне исследования (T_{12} – L_1), грудины, сопровождающееся гипераккумуляцией РФП на ОФЭКТ-срезах, характерной для «суперскана» (диффузное неравномерное уплотнение костной структуры позвонков зоны исследования, сопровождающееся гипераккумуляцией РФП на ОФЭКТ-срезах)

было подтверждено при дальнейшем динамическом наблюдении.

Таким образом показано, что только комбинированное исследование ОФЭКТ/КТ обеспечивает полное выявление метастазов в костях (рис. 1).

Во вторую группу вошли 42 пациента, у которых количество метастазов не превышало 20. Всего было выявлено 220 метастатических очагов в скелете.

Как видно из табл. 3, при ОСГ у 38 пациентов выявлены очаги, характерные для опухолевого поражения. У 4 ОСГ оказалась неинформативной: на сцинтиграммах очаги патологической аккумуляции РФП отсутствовали. Сцинтиграфическая картина либо оставалась нормальной, либо определялось неравномерное распределение РФП, скорее характерное для проявлений дистрофических изменений. Причиной дообследования с помощью ОФЭКТ/КТ стали болевой синдром (2 пациента) и повышение уровня ПСА на фоне отсутствия местного прогрессирования (2 пациента).

Локализации не выявленных при ОСГ очагов:

- 1) метастазы рака молочной железы в грудине (солитарный метастаз, выявленный при ОФЭКТ/КТ);
- 2) в поясничном отделе позвоночника и подвздошных костях (3 очага выявлены на ОФЭКТ 5 очагов на КТ срезах – метастазы в фазе репарации);
- 3) метастазы рака предстательной железы в поясничном отделе (2 метастаза, выявленные при ОФЭКТ/КТ);
- 4) в лонной кости (выявлен на ОФЭКТ/КТ).

Только у 31 % пациентов при ОСГ был выявлен полный объем метастатического поражения скелета. У 25 больных (59,5 %) была выявлена только часть метастатических очагов. В 9,5 % случаев ОСГ оказалась неинформативной.

Ложноположительные результаты ОСГ: у 9 пациентов (21,4 %) выявлены дополнительные очаги, си-

мулировавшие опухолевое поражение, но они были обусловлены проявлениями дистрофических изменений. Подобная картина без уточнённого исследования приводила к неверной оценке объёма поражения, что могло повлечь неадекватную оценку динамики в процессе лечения.

При ОФЭКТ у всех 42 пациентов были выявлены очаги, характерные для метастатического поражения костей. У 8 пациентов картина поражения была неполной: ряд очагов (в подавляющем большинстве мелких (до 0,5 см), литических) не был детектирован. Все очаги были выявлены только у 34 пациентов.

Ложноположительные результаты ОФЭКТ: в небольшом проценте случаев (11,9 %) были выявлены очаги, не исключавшие метастатическое поражение, но количество таких случаев было практически вдвое меньше, чем при ОСГ.

При КТ также у всех больных были выявлены метастазы в костях. Однако КТ при отдельной оценке также не показала 100 %-го результата. У 4 больных деструктивные изменения отсутствовали в некоторых костях, где отмечалась выраженная гипераккумуляция РФП. Поражение костей в данных локализациях было подтверждено на КТ при динамическом наблюдении в виде репарации в ранее негативных очагах.

Таким образом, совокупность данных гибридной визуализации ОФЭКТ/КТ позволила избежать диагностических ошибок, которые неизбежно возникли бы при отдельной интерпретации данных радионуклидного исследования и рентгеновской компьютерной томографии при поиске метастазов в костях (рис. 2).

Всё это свидетельствует о значительно более высокой диагностической эффективности комбинированной ОФЭКТ/КТ-томографии в выявлении мета-

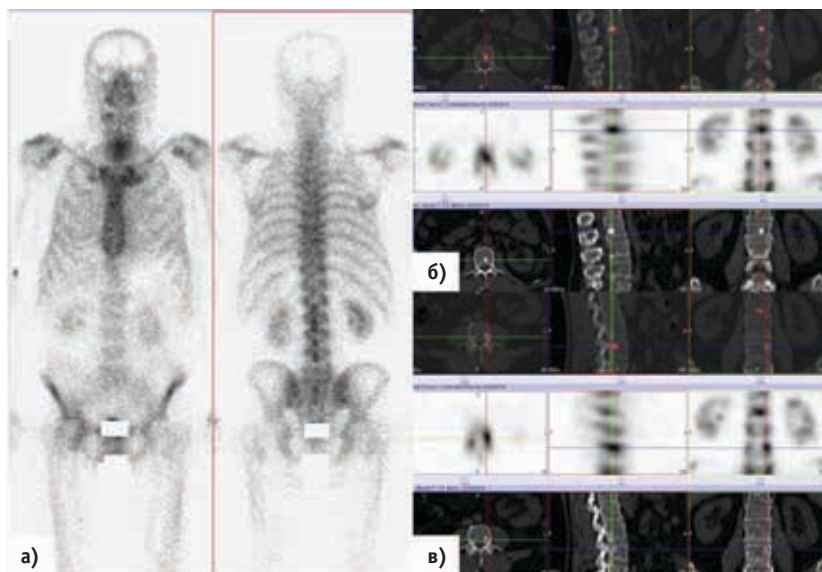


Рис. 2. Исследование костной системы больного раком предстательной железы. На планарных остеосцинтиграммах (а) признаков очагового поражения скелета не выявлено. Сцинтиграфическая картина соответствует дистрофическим изменениям в позвоночнике и суставах. На реконструированных и совмещенных срезах ОФЭКТ/КТ поясничного отдела позвоночника (б,в) определяются очаги гипераккумуляции РФП в телах 2-го (б) и 4-го (в) поясничных позвонков. На КТ-изображениях данные участки представлены очагами уплотнения костной структуры до 1,2 см в диаметре

статического поражения костной системы, а также его активности.

Несмотря на использование в клинической практике таких методов, как МРТ и КТ, а также ещё более точных гибридных методов ПЭТ/КТ или ПЭТ/МРТ, что позволило улучшить раннюю выявляемость метастазов в костях, и их частично большую доступность в связи с включением в систему ОМС, тем не менее, более простая, но менее информативная ОСГ продолжает оставаться ведущим скрининговым методом выявления метастазов в костях [13]. Однако система ОМС существует не везде, и имеется ограничение доступа к этим высокотехнологичным и дорогостоящим методам диагностики, обусловленное их стоимостью, а также лучевой нагрузкой при диагностической КТ [14]. При МРТ также имеются ограничения, связанные с установленными в организме кардиостимуляторами, металлоконструкциями и др. Учитывая сравнительно скромные возможности ОСГ, исследования, направленные на разработку новых и оптимизацию существующих методов диагностики, являются актуальными.

Таким методом, безусловно, может стать гибридная визуализация – ОФЭКТ/КТ [8, 9, 12, 15], позволяющая при экономии времени и невысокой лучевой нагрузке (ещё более сниженной при низкодозной КТ) обеспечить высококачественное обследование больных с подозрением на метастатическое поражение скелета.

Хотя визуальный анализ томографической картины является субъективным процессом, в при ОФЭКТ/КТ всегда просматривалась радионуклидная картина для скрининговой оценки аномалий накопления РФП с формированием общего представления о характере распределения РФП (равномерный, неравномерный, очаговый, диффузный). Проанализированные ранее данные планарной остеосцинтиграфии служат приблизительным ориентиром для поиска патологических очагов. После этого оценивается рентгенологическая картина с учётом выявленных зон повышенной (пониженной) аккумуляции РФП. Совмещённая картина (fusion) наиболее интересна в тех случаях, когда имеется визуальное несоответствие между очагами патологического накопления РФП и структурными изменениями на рентгеновских компьютерных томограммах.

Таким образом, особенности интерпретации комбинированного исследования диктуют необходимость, так или иначе, просматривать изображения всех модальностей.

Следует отметить, что интерпретация радионуклидной картины в срезовом отображении (ОФЭКТ) имеет свои особенности. Так, отображение накопления РФП в сравнении норма/патология выглядит более контрастным, чем на планарных скинтиграммах, особенно в цветовой шкале. Аналогичным образом существенно контрастируется отображение накопления РПФ и в различных неизменённых отделах скелета, соответственно массе костной ткани (например, отношение позвоночник/рёбра).

Помимо гипераккумуляции РФП собственно в очагах деструкции вследствие метастатического поражения, практически у всех взрослых, особенно старше 50 лет, определяются участки повышенного накопления РФП, обусловленные другими процессами, связанными с изменением тканевого костного метаболизма: посттравматическими, дистрофическими изменениями, дисплазиями и др. [16].

При диагностике метастазов комбинированная картина ОФЭКТ/КТ показала высокую диагностическую эффективность. Взаимное дополнение функциональной и структурной картин позволяет избежать многих гипер- и гиподиагностических ошибок. Исследование показало, что по-прежнему проблемой для ОФЭКТ/КТ является выявление мелких (до 0,5 см) литических метастазов, которые не всегда сопровождаются повышением накопления РФП. В то же время, и КТ может опаздывать с выявлением отдельных очагов, в которых имеется поражение на уровне костного мозга [17]. Совокупность же двух методов с совмещением изображений приводит к минимизации ошибок и более полной оценке распространённости метастатического процесса. Кроме того, ОФЭКТ/КТ позволяет, благодаря рентгенологической составляющей, проводить дифференциальную диагностику патологических процессов, что является основным ограничением планарной остеосцинтиграфии.

Выводы

В нашей работе применение метода ОФЭКТ/КТ позволило:

- повысить эффективность радионуклидной диагностики;
- улучшить точность диагностики метастазов в костях скелета;
- значительно ускорить диагностический процесс, сократив общее время обследования больных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chakraborty D., Bhattacharya A., Mete U.K., Mittal B.R. Comparison of ^{18}F fluoride PET/CT and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scan in the detection of skeletal metastases in urinary bladder carcinoma // Clin. Nucl. Med. 2013. Vol. 38. № 8. P. 616–621. Doi:10.1097/RLU.0b013e31828da5cc.
2. Qiu Z.L., Xue Y.L., Song H.J., Luo Q.Y. Comparison of the diagnostic and prognostic values of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP-planar bone scintigraphy, ^{131}I -SPECT/CT and ^{18}F -FDG-PET/CT for the detection of bone metastases from differentiated thyroid cancer // Nucl. Med. Commun. 2012. Vol. 33. № 12. P. 1232–1242. Doi: 10.1097/MNM.0b013e328358d9c0.
3. Shen G., Deng H., Hu S., Jia Z. Comparison of choline-PET/CT, MRI, SPECT, and bone scintigraphy in the diagnosis of bone metastases in patients with prostate cancer: a meta-analysis // Skeletal Radiol. 2014. Vol. 43. № 11. P. 1503–1513. Doi: 10.1007/s00256-014-1903-9.
4. Shen C.T., Qiu Z.L., Han T.T., Luo Q.Y. Performance of ^{18}F -fluoride PET or PET/CT for the detection of bone metastases: a meta-analysis // Clin. Nucl. Med. 2015. Vol. 40. № 2. P. 103–110. Doi: 10.1097/RLU.0000000000000592.

5. Buck A.K., Nekolla S., Ziegler S. et al. SPECT/CT // J. Nucl. Med. 2008. Vol. 49. № 8. P. 1305–1319. Doi: 10.2967/jnumed.107.050195.
6. Рыжков А.Д., Иванов С.М., Шириев С.В. и соавт. ОФЭКТ/КТ в контроле лучевого лечения костных метастазов остеосаркомы // Вопросы онкологии. 2016. Т. 62. № 5. С. 654–659.
7. Haraldsen A., Bluhme H., Röhl L. et al. Single photon emission computed tomography (SPECT) and SPECT/low-dose computerized tomography did not increase sensitivity or specificity compared to planar bone scintigraphy for detection of bone metastases in advanced breast cancer // Clin. Physiol. Funct. Imaging. 2016. Vol. 36. № 1. P. 40–46. Doi: 10.1111/cpf.12191.
8. Palmedo H., Marx C., Ebert A. et al. Whole-body SPECT/CT for bone scintigraphy: diagnostic value and effect on patient management in oncological patients // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2014. Vol. 41. № 1. P. 59–67. Doi: 10.1007/s00259-013-2532-6.
9. Ahmadzadehfar H., Marx C., Ebert A. et al. Diagnostic accuracy of SPECT/CT in comparison to whole body scintigraphy and SPECT in patients with suspected osseous metastases: Results of a two center study // J. Nucl. Med. 2012. Vol. 53. Suppl. 1. P. 336.
10. Savelli G., Maffioli L., Maccauro M. et al. Bone scintigraphy and the added value of SPECT (single photon emission tomography) in detecting skeletal lesions // Q. J. Nucl. Med. 2001. Vol. 45. № 1. P. 27–37.
11. Löfgren J., Mortensen J., Loft A. et al. Diagnosing bone metastases. Pilot data from a prospective study comparing [^{99m}Tc]-MDP planar bone scintigraphy, whole body SPECT/CT, [¹⁸F]-fluoride PET/CT and [¹⁸F]-fluoride PET/MRI // J. Nucl. Med. 2013. Vol. 54. № 2. P. 93–92.
12. Крживицкий П.И., Канаев С.В., Новиков С.Н. и соавт. ОФЭКТ/КТ в диагностике метастатического поражения скелета // Вопросы онкологии. 2014. Т. 60. № 1. С. 56–63.
13. Cuccurullo V., Cascini G.L., Tamburrini O. et al. Bone metastases radiopharmaceuticals: an overview // Curr. Radiopharm. 2013. № 6. P. 41–47.
14. Ginde A.A., Foianini A., Renner D.M. et al. Availability and quality of computed tomography and magnetic resonance imaging equipment in U.S. emergency departments // Acad. Emerg. Med. 2008. Vol. 15. № 8. P. 780–783. Doi: 10.1111/j.1553-2712.2008.00192.x.
15. Górka-Chrzastek M., Kovacevicz-Kuśmierk K., Chrzastek J. et al. Reliability of different radioisotopic techniques in diagnosing solitary hot spots in the spine of patients with malignant neoplasm // Pol. Arch. Med. Wewn. 2013. Vol. 123. № 7–8. P. 386–393.
16. Рыжков А.Д., Шириев С.В., Оджарова А.А. и соавт. Остеосцинтиграфия метастазов в кости с фосфатными соединениями, меченными ^{99m}Tc // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2007. Т. 52. № 4. С. 62–68.
17. O'Sullivan G.J., Carty F.L., Cronin C.G. Imaging of bone metastasis: An update // World. J. Radiol. 2015. Vol. 28. Suppl. 7. № 8. P. 202–211. Doi: 10.4329/wjr.v7.i8.202.

DOI 10.12737/article_59f2fc0812bc46.45377149

The Advantage of a Combined SPECT/CT in the Diagnosis of Bone Metastases**A.D. Ryzhkov, A.S. Krylov, S.V. Shiryaev, Ya.A. Shchipakhina, N.V. Kochergina**

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia. E-mail: krilovas@rambler.ru

A.D. Ryzhkov – Senior Researcher, Dr. Sc. Med.;

A.S. Krylov – Radiologist, PhD Med., Member of the European Association of Nuclear Medicine and Molecular Imaging;

S.V. Shiryaev – Head of Lab., Dr. Sc. Med., prof., President of the OSMI, member of the European Association of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, member of the American College of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, member of the Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging;

Ya.A. Shchipakhina – Research worker, PhD Med.;

N.V. Kochergina – Leading Researcher, Dr. Sc. Med., Prof.

Abstract**Purpose:** To define the diagnostic capabilities of SPECT/CT in comparison with whole body scintigraphy (WBS) in patients with bone metastases.**Material and methods:** It was included 67 patients with bone metastases of breast cancer, prostate cancer and other tumors. The evaluation was included WBS and SPECT/CT.**Results:** All patients were divided into 2 groups: with single and multiple metastases. SPECT/CT showed higher efficiency in detecting bone metastases than WBS. The full detection of bone metastases with WBS ranged from 31 to 56 % compared to SPECT/CT for groups respectively. In some cases (for groups respectively 4 to 9.5 % depending on the number of metastases and their localization) of WBS was not informative, recorded the absence of lesions.**Conclusion:** SPECT/CT can improve the diagnosis of bone metastasis.**Key words:** bone metastases, SPECT/CT, bone scan**REFERENCES**

- Chakraborty D., Bhattacharya A., Mete U.K., Mittal B.R. Comparison of ^{18}F fluoride PET/CT and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scan in the detection of skeletal metastases in urinary bladder carcinoma // Clin. Nucl. Med. 2013. Vol. 38. № 8. P. 616–621. Doi:10.1097/RLU.0b013e31828da5cc.
- Qiu Z.L., Xue Y.L., Song H.J., Luo Q.Y. Comparison of the diagnostic and prognostic values of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP-planar bone scintigraphy, ^{131}I -SPECT/CT and ^{18}F -FDG-PET/CT for the detection of bone metastases from differentiated thyroid cancer // Nucl. Med. Commun. 2012. Vol. 33. № 12. P. 1232–1242. Doi: 10.1097/MNM.0b013e328358d9c0.
- Shen G., Deng H., Hu S., Jia Z. Comparison of choline-PET/CT, MRI, SPECT, and bone scintigraphy in the diagnosis of bone metastases in patients with prostate cancer: a meta-analysis // Skeletal Radiol. 2014. Vol. 43. № 11. P. 1503–1513. Doi: 10.1007/s00256-014-1903-9.
- Shen C.T., Qiu Z.L., Han T.T., Luo Q.Y. Performance of ^{18}F -fluoride PET or PET/CT for the detection of bone metastases: a meta-analysis // Clin. Nucl. Med. 2015. Vol. 40. № 2. P. 103–110. Doi: 10.1097/RLU.0000000000000592.
- Buck A.K., Nekolla S., Ziegler S. et al. SPECT/CT // J. Nucl. Med. 2008. Vol. 49. № 8. P. 1305–1319. Doi: 10.2967/jnumed.107.050195.
- Ryzhkov A.D., Ivanov S.M., Shiryaev S.V. et al. SPECT/CT radiation in treatment of bone metastases of osteosarcoma // Problems in oncology. 2016. Vol. 62. № 5. P. 654–659.
- Haraldsen A., Bluhme H., Röhl L. et al. Single photon emission computed tomography (SPECT) and SPECT/low-dose computerized tomography did not increase sensitivity or specificity compared to planar bone scintigraphy for detection of bone metastases in advanced breast cancer // Clin. Physiol. Funct. Imaging. 2016. Vol. 36. № 1. P. 40–46. Doi: 10.1111/cpf.12191.
- Palmedo H., Marx C., Ebert A. et al. Whole-body SPECT/CT for bone scintigraphy: diagnostic value and effect on patient management in oncological patients // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2014. Vol. 41. № 1. P. 59–67. Doi: 10.1007/s00259-013-2532-6.
- Ahmadzadehfar H., Marx C., Ebert A. et al. Diagnostic accuracy of SPECT/CT in comparison to whole body scintigraphy and SPECT in patients with suspected osseous metastases: Results of a two center study // J. Nucl. Med. 2012. Vol. 53. Suppl. 1. P. 336.
- Savelli G., Maffioli L., Maccauro M. et al. Bone scintigraphy and the added value of SPECT (single photon emission tomography) in detecting skeletal lesions // Q. J. Nucl. Med. 2001. Vol. 45. № 1. P. 27–37.
- Löfgren J., Mortensen J., Loft A. et al. Diagnosing bone metastases. Pilot data from a prospective study comparing [$^{99\text{m}}\text{Tc}$]-MDP planar bone scintigraphy, whole body SPECT/CT, [^{18}F]-fluoride PET/CT and [^{18}F]-fluoride PET/MRI // J. Nucl. Med. 2013. Vol. 54. № 2. P. 93–92.
- Krzhivitsky P.I., Kanaev S.V., Novikov S.N. et al. SPECT-CT in the diagnosis of metastatic skeletal lesion // Problems in oncology. 2014. Vol. 60, № 1. P. 56–63.
- Cuccurullo V., Cascini G.L., Tamburrini O. et al. Bone metastases radiopharmaceuticals: an overview // Curr. Radiopharm. 2013. № 6. P. 41–47.
- Ginde A.A., Foianini A., Renner D.M. et al. Availability and quality of computed tomography and magnetic resonance imaging equipment in U.S. emergency departments // Acad. Emerg. Med. 2008. Vol. 15. № 8. P. 780–783. Doi: 10.1111/j.1553-2712.2008.00192.x.
- Górska-Chrzastek M., Kovacevicz-Kuśmierk K., Chrzastek J. et al. Reliability of different radioisotopic techniques in diagnosing solitary hot spots in the spine of patients with malignant neoplasm // Pol. Arch. Med. Wewn. 2013. Vol. 123. № 7–8. P. 386–393.
- Ryzhkov A.D., Shiryaev S.V., Odzharova A.A., Aplevich N.N., Krylov A.S., Goncharov M.O. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -labelled Phosphonate Metastases Bone Scintigraphy // Med. Radiol. and Radiation Safety. 2007. Vol. 52, № 4. P. 62–68.
- O'Sullivan G.J., Carty F.L., Cronin C.G. Imaging of bone metastasis: An update // World. J. Radiol. 2015. Vol. 28. Suppl. 7. № 8. P. 202–211. Doi: 10.4329/wjr.v7.i8.202

DOI 10.12737/article_59f2fe1f592407.71438587

Е.В. Филатова, О.Н. Ламанова, П.В. Филатов, А.А. Жеравин**КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ РАДИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ДОЗОЙ НА ЛИМФОИДНЫЕ ОПУХОЛИ СРЕДОСТЕНИЯ И ДОЗОЙ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЫХАНИЯ ПАЦИЕНТА**

Сибирский федеральный биомедицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина Минздрава РФ, Новосибирск. E-mail: e_filatova@meshalkin.ru

Е.В. Филатова – мед. физик; О.Н. Ламанова – врач-радиолог; П.В. Филатов – мед. физик; А.А. Жеравин – к.м.н., рук. центра онкологии и радиотерапии

Реферат

Цель: Найти взаимосвязь между предписанной дозой на область облучения (опухоль) и дозой, которую получают сердце и грудной отдел аорты при использовании метода «на задержке дыхания» при проведении классического курса лучевой терапии для пациентов с ходжкинскими и неходжкинскими лимфомами средостения.

Материал и методы: Для когорты пациентов репродуктивного возраста с диагнозами ходжкинская и неходжкинская лимфомы области средостения была проведена лучевая терапия с оконтуриванием области облучения и критических структур, а также грудного отдела аорты. Облучение производилось на задержке дыхания при вдохе (АВС) для минимизации доз на сердце, аорту и легкие. Произведен расчет длины и диаметра оконтуренной аорты, дозы на нее и сердце, произведен корреляционный анализ взаимосвязи предписанной дозы на область облучения и доз, получаемых сердцем и аортой при номинальной энергии фотонов 6 и 10 MV.

Результаты: Проведена оценка лучевой нагрузки на сердце согласно протоколам RTOG 1005 и RTOG 0623. Превышение порогового уровня для $V_{20} < 5\%$ наблюдалось в 11 случаях из 21, причем 8 случаев из них приходится на фотоны 10 MV. Коэффициент корреляции между предписанной дозой и дозой на сердце $V_{10} < 30\%$ согласно протоколу RTOG 1005 составил 0,71 и показал самое высокое значение. Тот же показатель ниже на 13 % для протокола RTOG 0623 (V_{67}) – 0,58 и у него наиболее слабый коэффициент корреляции (V_{33}) – 0,45. При этом значение коэффициента корреляции для аорты падает с ростом объема, на который попадает предписанная доза области облучения, следовательно, 10 и 20 % объема грудного отдела аорты получают максимальное значение предписанной дозы.

Выводы: Исследование показало, что оконтуривание грудного отдела аорты является обязательным, так как средняя доза на нее составила 10,73 Гр для фотонов 10 MV и 6,50 Гр для фотонов 6 MV. Очевидно, что применение фотонов 6 MV является более органосохраняющим методом радиотерапевтического лечения при использовании таких методик, как АВС. Очень важным остается исследование вопроса допустимой дозы, приходящейся на объем аорты, без критических последствий для здоровья сердечно-сосудистой системы пациента. И это особенно важно, если принять во внимание, что все пациенты до лучевой терапии прошли курс химиотерапии, которая также вызывает кардиотоксичность.

Ключевые слова: медиастинальная лимфома, лучевая терапия, система контроля дыхания пациента, кардиотоксичность, сердечно-сосудистая система, сердце, грудной отдел аорты

Поступила: 20.07.2017. Принята к публикации: 21.09.2017

Введение

Опухоли средостения составляют менее 1 % всех опухолей человека, но большую часть из них представляют лимфопролиферативные заболевания, поддающиеся системному лечению. Заболеваемость классической лимфомой Ходжкина (ЛХ) составляет 2–4 случая на 100 тыс. человек в год. Согласно данным источника World Cancer Research Fund International, за 2012 г. зарегистрировано около 66 тыс. новых случаев с диагнозом ЛХ.

Впервые об этом заболевании было написано в 1832 г. в журнале Medical Chirurgical Transactions под названием “On some morbid appearances of the absorbent glands and spleen” Томасом Ходжкиным (Thomas Hodgkin, 1778–1866). В заболеваемости болезнью Ходжкина наблюдаются два возрастных пика: первый приходится на возраст 15–35 лет, а второй наблюдается после 50–60 лет. У женщин подобная патология наблюдается примерно в два раза реже, чем у мужчин. Причины возникновения ЛХ указываются разные, среди которых могут быть инфекции (мононуклеоз), канцерогены (гербициды, пестициды), ВИЧ, поражения иммунной системы, наследственная и генетическая предрасположенности [1].

Наиболее распространенным лимфопролиферативных заболеваний взрослых другого вида – неходжкинского типа является диффузная крупноклеточная В-клеточная лимфома (ДВКЛ), которая составляет

30 % от всех неходжкинских лимфом. Заболеваемость ДВКЛ составляет 4–5 случаев на 100 тыс. населения в год, а за 2012 г. зарегистрировано около 386 тыс. новых случаев с диагнозом неходжкинской лимфомой. Риск развития болезни увеличивается с возрастом (медиана 63 года). Мужчины и женщины болеют ДВКЛ с почти равной частотой. При этом медиастинальная крупноклеточная В-клеточная лимфома отличается массивным опухолевым поражением средостения, приводящим к сдавлению его органов и структур [2].

ДВКЛ наиболее часто встречается среди агрессивных видов неходжкинских лимфом, течение которой характеризуется склонностью к быстрой генерализации опухолевого роста, что определяет крайне неблагоприятный прогноз и высокую летальность больных: 5-летняя выживаемость составляет в среднем 38 %, а медиана выживаемости нелеченных больных не превышает одного года [3].

Поражение области средостения выявляется у 60–80 % первичных больных. Выявить это позволяют рентгенологические методы исследования органов грудной клетки – рентгенография органов грудной клетки в двух проекциях и мультисрезовая спиральная компьютерная томография (МСКТ) с контрастированием. Типичной локализацией опухолевого процесса является передне-верхнее средостение. Изолированное поражение лимфоузлов корня легкого отмечается достаточно редко. Основным диагностическим призна-

ком поражения лимфоузлов является увеличение их размера более чем на 1 см. При анализе изображений, полученных с помощью МСКТ, особое внимание следует обратить на диагностику изменений в паракардиальных, парастеральных лимфоузлах, перикарде, бифуркационных и прикорневых лимфоузлах.

В брюшной полости и малом тазу магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет дифференцировать лимфоузлы от прилежащих сосудистых стволов, дополняя возможности КТ. Существенное значение придается изучению информативности МРТ при дифференциальной диагностике остаточных опухолевых масс, которые выявляются после завершения стандартного противоопухолевого лечения у 40–60 % больных с поражением средостения.

Для диагностики используют также ультразвуковое исследование (УЗИ), при котором пораженные лимфоузлы визуализируются в качестве гипоехогенных образований диаметром более 1 см. Особенно хорошо доступны обследованию поверхностно расположенные лимфоузлы: шейно-надключичные, подмышечные, паховые, бедренные. При УЗИ брюшной полости хорошо видны лимфатические коллекторы, расположенные в воротах печени и селезенки.

Самым современным диагностическим методом является позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) с ^{18}F -ФДГ.

ЛХ очень хорошо подвергаются лучевой терапии вследствие высокой радиочувствительности трансформированных лимфоидных клеток. В настоящее время установлено, что как при ЛХ, так и при неходжкинских лимфомах опухолевой трансформации подвергается В-лимфоцит. Кроме того, лимфоидные опухоли характеризуются относительно быстрым ростом. Так, для ЛХ время удвоения опухолевого объема находится в пределах 30–70 сут (медиана 50 сут). В последнее время считается, что терапевтическая эффективность ионизирующего излучения формируется как за счет прямого повреждения ядерной ДНК опухолевых клеток, так и посредством воздействия на цитоплазматические мембраны, повреждение которых инициирует многоступенчатый метаболический путь сигнальной трансдукции, ведущий к различным биологическим реакциям, включая программированную клеточную гибель (апоптоз).

Большинством центров Европы и Северной Америки принято, что при проведении только лучевой терапии с облучением пораженных зон в суммарной очаговой дозой (СОД) 20 Гр обеспечивается локальный контроль 50 %, 30 Гр – 90 %, 36 Гр – 95 % и 40 Гр – 98 % от всего локального контроля опухоли. Для субклинических зон поражения 90 %-ый локальный контроль обеспечивает уже 20 Гр, а 95 % – 30 Гр. Для опухолевых лимфоузлов размерами более 5 см в диаметре большинство центров используют по-прежнему 40–44 Гр. При профилактическом облучении легкого, сердца, печени рекомендуется соответственно 15–17, 15 и 22–24 Гр. Рекомендуются разовые дозы на лимфоузлы при обычном фракционировании составляют 1,5–1,8 Гр,

на сердце – 1,5 Гр, на легкое – 0,75–1,5 Гр, на печень – 1–1,5 Гр. Пятнадцатилетний опыт Российского научного центра радиологии и хирургических технологий (РНЦРХТ, Санкт-Петербург) по использованию мультифракционирования дозы при крупнопольном облучении показал эквивалентность режима 1,2–1,35 Гр два раза в день через 4 ч до 40 Гр обычному фракционированию, поэтому суммарные очаговые дозы при этом остаются такими же, как указано выше. Разовые дозы на лимфоузлы при облучении два раза в день составляют 1–1,4 Гр, на сердце – 1 Гр, на печень – 1–1,2 Гр; на легкое 1–1,3 Гр; если легкое облучается целиком (при его поражении), то проводится только один сеанс в день [4].

Поскольку лимфомы в области средостения окружены такими жизненно важными органами, как легкие, пищевод, сердце, восходящий отдел аорты, дуга аорты, нисходящий отдел аорты, то они частично либо целиком (в зависимости от размера и расположения планируемого объема облучения) входят в область облучения. В результате этого получают такую лучевую нагрузку, которая впоследствии приводит к появлению осложнений, особенно со стороны сердечно-сосудистой системы (ССС), т.е. так называемой кардиотоксичности.

По опыту Стэнфордского университета, именно заболевания ССС у пациентов с ЛХ, находящихся в состоянии ремиссии, в 16 % случаев являются причиной летальных исходов среди всех умерших больных. Согласно различным исследованиям, в Европе и США из 12 829 больных ЛХ, пролеченных за последние полвека, абсолютный риск гибели от осложнений ССС колеблется от 5,4 до 28 на 10 тыс. больных в год [5, 6].

Отмечено синергическое влияние ССС облучения области средостения в сочетании с химиотерапией антрациклинами. По данным голландских исследователей, полученным на основании изучения историй болезни 2 689 больных, пролеченных в период 1965–1995 гг., из 1474 больных, медиана наблюдения 18 лет в возрасте до 41 года на момент постановки диагноза ЛХ и проживших 5 лет и более, только лучевую, только химиотерапию или комбинированное лечение получили примерно равные доли больных. Выявлено 35-кратное увеличение риска инфарктов миокарда, ишемической болезни сердца и поражения клапанного аппарата сердца, которое непосредственно связано с облучением средостения, особенно у больных, получавших лечение в молодые годы, а также увеличение риска этих заболеваний в группе больных, получавших химиотерапию с антрациклинами [7, 8].

В исследовании [9], из 972 пациентов с диагнозом ЛХ 42 % пациентов погибли в первые 10 лет после ЛТ от инфаркта миокарда, а 27 % пациентов погибли от заболеваний коронарных артерий в возрасте менее 40 лет. Также риск от внезапной смерти был зарегистрирован у 6,7 % пациентов из группы 352 человек, средний период жизни которых составил 11 лет. Отмечено, что риск инфаркта миокарда после ЛТ лимфомы Ходжкина

выше у пациентов, получавших ЛТ в возрасте моложе 20 лет [9].

На 88 смертей по причине кардиологических осложнений приходится 55 случаев смерти от инфаркта миокарда, причем средний возраст пациентов составил 49 лет, 22 случая смерти пациентов старше 49 лет, а 6 % пациентов имели аортальную регургитацию в возрасте до 20 лет, причем у 15 % зарегистрированы тяжелые случаи аортальной регургитации [10]. Далее, в группе из 2 232 пациентов с диагнозом ЛХ (средний возраст 29 лет) риск смертности от заболеваний ССС составил 3,9 % за 9,5 лет, согласно авторам другого исследования [11].

Кардиотоксичность в лучевой терапии при облучении области средостения приводит к повреждению сердечной мышцы, что обуславливает возникновение ряда таких заболеваний как перикардит, ишемия миокарда, хроническая сердечная недостаточность, поражение клапанов сердца, инфаркт миокарда, дисфункция левого желудочка, диастолическая дисфункция, повреждение коронарных артерий, рестриктивная кардиомиопатия, тахикардия, фиброз, нарушения проводимости сердца, аортальный стеноз, изменения проводимости пучка Гиса, полная атриовентрикулярная блокада, лабильная или ортостатическая гипертензия, аортальный кальциноз, стенотическое поражение подключичной артерии, утолщение комплекса интима-медиа сонных артерий, склероз коронарных артерий (при дозе более 10 Гр). Перикардит может возникнуть уже спустя год после ЛТ, острый перикардит может наблюдаться уже через 6–12 мес. 80 % поражений сосудов после ЛТ приходится на коронарные артерии, чаще всего наблюдается атеросклероз левой передней нисходящей и правой коронарных артерий, который проявляется спустя 10–15 лет после ЛТ. Дефекты перфузии регистрируются через 6–12 мес после ЛТ, уплощение зубца Т – спустя 6 мес после ЛТ [11–14].

Ярко выраженная диастолическая дисфункция левого желудочка была зарегистрирована у пациентов, получивших 35 Гр на медиастинальную область, а при дозах свыше 30 Гр были выявлены случаи развития интерстициального фиброза. При подведении дозы 35 Гр у 6 % пациентов клинически была выявлена дисфункция ССС, у 26 % – аортальная регургитация второй степени [10–15].

Конкретных данных о том, при какой дозе, полученной разными отделами сердца или аорты, начинаются необратимые последствия, нет. По общепринятому мнению авторов многочисленных исследований, средняя доза в 30 Гр на область всего сердца является допустимой, но есть стандарты, так называемые протоколы, на которые опираются многие врачи и медицинские физики при планировании курса ЛТ. Одним из них является протокол RTOG 0623 (Radiation Therapy Oncology Group), согласно которому, 33 % объема сердца должно получить не более 60 Гр, 67 % объема – не более 45 Гр, все сердце (100 % объема) не более – 40 Гр.

Как следует из литературных данных, определение дозы на сердце и ССС является очень трудоемкой зада-

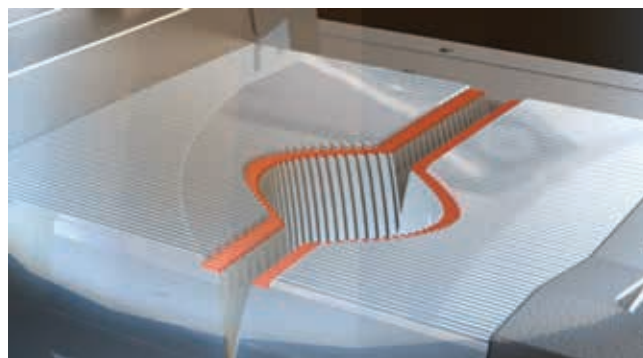


Рис. 1. Общий вид многолепесткового коллиматора для ускорителя Agility (Elekta Ltd.)

чей, требующей четкого понимания, какая часть органа попадает в область облучения, какую дозу она получает, что, в свою очередь, влияет на процесс составления и расчета модели фракционирования и т.д. Вследствие этого данные по осложнениям в аорте очень сильно разнятся между собой, что обуславливает необходимость проведения дополнительных и более углубленных исследований по данному вопросу.

Современное радиотерапевтическое оборудование позволяет подводить дозу прецизионно и отказаться от крупнопольного метода облучения. Это достигается благодаря многолепестковому коллиматору (MLC – multi leaf collimator), который состоит из 80–160 тонких вольфрамовых «полосок» шириной 0,25–1 см, способных защищать здоровые органы и ткани от облучения (см. рис. 1).

Применение метода контроля дыхания пациента повышает качество лечения за счет иммобилизации подвижного места облучения, что характерно для области средостения. Для этого в клиниках используют систему Active Breathing Coordinator (ABC) компании Elekta Ltd (см. рис. 2).

Информация о снижении дозной нагрузки на сердце при применении систем респираторного контроля приводится во многих работах [16–19]. Согласно им, среднее значение дозы на сердце при задержке дыхания составило 0,7–5 Гр [19], также приводятся значения 3 Гр [18], а на левую переднюю нисходящую аорту – до 13,8 Гр. В другом исследовании [20] рассматривалась когорта 16-ти летних пациентов женского пола, среднее значение дозы на сердце составило 16,44 Гр для 3DCRT



Рис. 2. Система контроля дыхания

(3 Dimensional Conformal Radiotherapy Treatment) плана и 11,38 Гр для планирования спиральной томотерапии. Но почти все исследования проводились при облучении левой молочной железы у женщин. В исследовании норвежских авторов были получены средние значения дозы на сердце (1,8 Гр), левый желудочек (2,3 Гр), правый желудочек (2,1 Гр), левое предсердие (1,6 Гр), правое предсердие (1,4 Гр) когорты пациенток возрастной группы 47–64 года с предписанной дозой 50 Гр на область мишени [21].

Очевидно, что данная тема актуальна, поскольку исследования дозной нагрузки на ССС при облучении лимфом средостения нельзя считать исчерпывающими и, в первую очередь, среди больных репродуктивного возраста (16–45 лет).

Цель настоящей работы – найти взаимосвязь между предписанной дозой на область облучения (опухоль) и дозой, которую получают сердце и грудной отдел аорты при использовании метода «на задержке дыхания» при проведении классического курса лучевой терапии для пациентов с ходжкинскими и неходжкинскими лимфомами средостения.

Материал и методы

В группе исследования был 21 пациент, из них 15 женского и 6 мужского пола, средний возраст составил 31 год. Предписанная доза в область облучения составляла 20, 30, 36 и 40 Гр. У семи человек была диагностирована ДВКЛ, а у 17 человек – ЛХ. Практически все пациенты предварительно прошли курс химиотерапии.

После приема в отделение онкологии и радиотерапии СФБМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина, всем пациентам на этапе топометрической подготовки была проведена МСКТ (мультирезонансная компьютерная томография) грудной клетки на томографе Toshiba Aquilion LB с контрастным усилением путем введения йодсодержащего препарата Везипак в расчете 10 мл на 10 кг массы тела и с применением респираторной системы ABC (Elekta Ltd.). На полученных снимках производилось оконтуривание области облучения, так называемой мишени CTV (clinical target volume), с созданием PTV (planning target volume) и отступом PTV от CTV на 0,3–0,4 см. Оконтуривались критически важные структуры – такие, как легкие, пищевод, спинной мозг, щитовидная железа (при необходимости), сердце с правым и левым предсердием и с правым и левым желудочком, также были оконтурены левая восходящая дуга аорты, корень аорты, аортальный клапан и дуга аорты.

Локализации мишени облучения были в области средостения, с разным расположением относительно сердца. Средний объем облучения составил 72,9 см³. Радиотерапевтический план был выполнен по методике VMAT (volumetric modulated arc therapy) с номинальной энергией пучка фотонов 6 и 10 MV. Были произведены расчеты и проведен анализ планов (планирующие системы ERGO, MONACO) как для области облучения, так и для критических структур. Для исследования воздействия дозной нагрузки на сердце были выбраны два протокола, на основе которых были проанализи-

Таблица 1

Доза на сердце для фотонов номинальной энергии 6 и 10 MV, Гр

Среднее значение дозы	RTOG 1005		RTOG 0623	
	*RTOG V ₂₀ < 5 %	*RTOG V ₁₀ < 30 %	**V ₃₃ < 60 Гр	**V ₆₇ < 45 Гр
3,54	7,01	10,92	5,04	1,55

Примечание: * – означает, что не более 5 % тканей от объема сердца должно получить не более 20 Гр от предписанной дозы в мишени; либо 30 % тканей – не более 10 Гр

** – означает, что 33 % тканей от объема сердца должно получить не более 60 Гр, а 67 % – не более 45 Гр

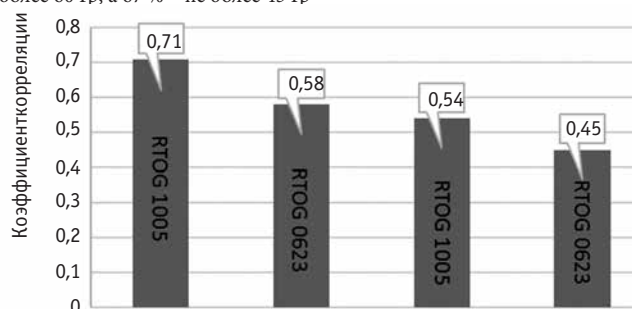


Рис. 3. Корреляция между предписанной дозой и полученной сердцем дозой (критическая структура)

рованы полученные результаты – RTOG 1005 и RTOG 0623. Хотя данные протоколы относятся к облучению молочной железы, так RTOG 1005 – «A phase III trial of accelerated whole breast irradiation with hypofractionation plus concurrent versus standard whole breast irradiation plus sequential boost for early stage breast cancer», а RTOG 0623 – «A phase II trial of combined modality therapy with growth factor support patients with limited stages small cell lung cancer», но в них приведены подробные описания ограничений полученной дозы для сердца.

В табл. 1. представлены результаты полученных оценок по обоим протоколам.

Следует отметить, что для протокола RTOG 1005 превышение порогового уровня для V₂₀ < 5 % наблюдалось в 11 случаях из 21, из них 8 случаев приходится на фотоны 10 MV, а V₁₀ < 30 % – в 9 случаях из 21, из них 7 случаев приходится на фотоны 10 MV. Коэффициент корреляции Пирсона между предписанной дозой и полученной для RTOG 1005 V₁₀ < 30 % составил 0,71, т.е. показал самое высокое значение, чуть ниже – для RTOG 0623 V₆₇ = 0,58, потом следует

Таблица 2

Полученная критическими структурами доза для фотонов 6 и 10 MV

	Сердце	Левое легкое	Правое легкое	Спинной мозг	Пищевод
x, Гр	3,54	5,82	5,05	2,45	9,03
σ	2,66	2,466	1,98	1,18	4,71
p	1,11	1,03	0,82	0,49	1,97
Max, Гр	14,40	11,30	10,47	8,27	25,10
Min, Гр	0,61	2,36	1,75	0,72	2,04
R	-0,10	0,13	0,06	0,07	-0,02
R, %	10,7	13,2	6,6	7,5	-2,2

Примечание:

x – среднее арифметическое значение; σ – стандартное отклонение; Max/ Min – максимальное и минимальное значение; p – доверительный интервал; R – коэффициент корреляции между предписанной дозой в область облучения и полученной органом дозой

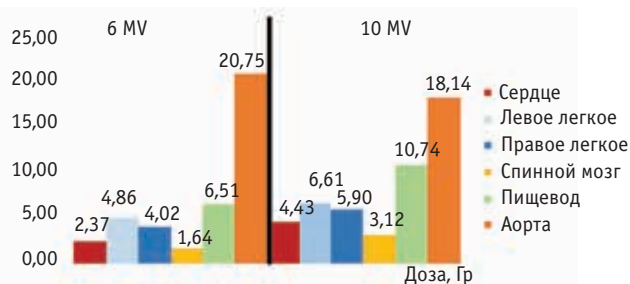


Рис. 4. Средние значения дозы на сердце, аорту и другие критические органы при облучении опухоли фотонами с номинальной энергией 6 и 10 MV

RTOG 1005 $V_{20} < 5\%$, коэффициент корреляции которого составил 0,54 и самый слабый коэффициент корреляции – у RTOG 0623 $V_{33} = 0,45$. Наглядно результаты представлены на рис. 3. Значение коэффициента корреляции для аорты падает с ростом объема, на который попадает предписанная доза области облучения, следовательно, 10 % и 20 % объема аорты получает максимальное значение предписанной дозы.

Статистический анализ данных также был проведен для легкого, пищевода, спинного мозга, который показан в табл. 2. В виде графика результаты представлены на рис. 4.

Помимо сердца в область облучения входили грудной отдел и дуга аорты, которые располагались в непосредственной близости к опухоли. Восходящий отдел и дуга аорты находятся в переднем средостении и проходят косо снизу вверх, слева направо и сзади наперед. Длина восходящей аорты у взрослых колеблется в пределах 4–8 см (чаще 5–5,5 см), диаметр на уровне середины ее длины достигает 1,5–3 см (чаще 2–2,5 см). У мужчин восходящая аорта длиннее и шире, чем у женщин. Чем больше длина сердца, тем длиннее восходящий отдел аорты [22].

Поскольку в настоящее время нет стандартов по определению дозы, полученной различными отделами аорты, то и эта задача легла в основу нашего исследо-

вания. Нами было произведено оконтуривание аорты, определение через приложение Measure tool (Monaco) ее длины, объема и расчет диаметра за счет приближения органа к геометрии цилиндра:

$$V = \pi R^2 h, \quad (1)$$

где V – объем, R – радиус цилиндра, h – длина. Поскольку $2R = d$, а d – диаметр, то

$$d = 2 \sqrt{\frac{V}{\pi h}}. \quad (2)$$

Результаты и обсуждение

Значение дозы на восходящий отдел и дугу аорты разбили на четыре области исходя из покрытия дозой объема, то есть 10, 20, 50 и 70 % изодозного покрытия. Полученные данные приведены в табл. 3, а в табл. 4 представлены результаты статистического анализа.

В табл. 4. приведены усредненные значения по двум номинальным энергиям фотонов пучка излучения. Видно, что значение коэффициента корреляции Пирсона падает с ростом объема, на который попадает предписанная доза области облучения. Следовательно, 10 и 20 % оконтуренного объема, который включает в себя корень аорты, аортальный клапан, восходящий отдел аорты и дугу аорты, получают максимальное значение от предписанной дозы – 28,37 и 27,26 Гр соответственно.

Таким образом, показано, что имеет место воздействие радиотерапевтического излучения на ССС. Были проанализированы дозы на сердце, как орган в целом, корень аорты, аортальный клапан, восходящий отдел аорты и дугу аорты. В результате проведенного нами исследования показано, что среднее значение дозы, полученной сердцем, составило 3,54 Гр, а среднее значение дозы, полученной грудным отделом аорты, составило 19,25 Гр. Среднее значение дозы на сердце с применением респираторной системы по контролю за дыханием близко к этому значению, согласно исследо-

Таблица 3

Покрывание дозой восходящего отдела и дуги аорты для фотонов с номинальной энергией 6 и 10 MV

$V, \text{см}^3$	$h, \text{см}$	$d, \text{см}$	$\bar{D}, \text{Гр}$	$D_{V10\%}, \text{Гр}$	$D_{V20\%}, \text{Гр}$	$D_{V50\%}, \text{Гр}$	$D_{V70\%}, \text{Гр}$	E, MV
36,04	6,53	1,85	20,75	30,21	29,06	22,47	15,04	6
34,72	6,32	1,83	18,14	27,01	25,93	20,55	16,31	10

Примечание: V – объем аорты; h – длина аорты; $\bar{D}$ – средняя доза, приходящаяся на аорту; $D_{V10,20,50,70}$ – доза, покрывающая 10, 20, 50 и 70 % объема аорты; E – энергия фотонов

Таблица 4

Статистический анализ данных для восходящего отдела и дуги аорты при облучении фотонами 6 и 10 MV

	$\bar{V}, \text{см}^3$	$\bar{h}, \text{см}$	$\bar{d}, \text{см}$	$\bar{x}, \text{Гр}$	$\bar{D}_{V10\%}, \text{Гр}$	$\bar{D}_{V20\%}, \text{Гр}$	$\bar{D}_{V50\%}, \text{Гр}$	$\bar{D}_{V70\%}, \text{Гр}$
σ	35,28	6,49	1,77	19,25	28,37	27,26	21,37	15,76
p	9,99	1,62	0,48	6,23	6,78	6,84	6,82	6,79
p	4,17	0,67	0,20	2,60	2,83	2,85	2,84	2,83
Max, Гр	70,35	11,32	3,24	33,17	38,80	36,36	35,64	34,92
Min, Гр	6,62	3,10	0,57	0,72	6,25	5,79	3,20	1,50
R				0,31	0,50	0,44	0,23	0,13
$R, \%$				31,71	50,56	44,74	23,69	13,23

Примечание: $\bar{x}$ – среднее арифметическое значение; σ – стандартное отклонение; Max/ Min – максимальное и минимальное значение; p – доверительный интервал; R – коэффициент корреляции между предписанной дозой в область облучения и полученной органом дозой; $\bar{V}$ – средний объем аорты; $\bar{d}$ – средний диаметр аорты; $\bar{D}_{V10,20,50,70\%}$ – среднее значение дозы, покрывающее 10, 20, 50 и 70 % объема аорты

ваниям [21, 22]. Но для различных отделов аорты нет никаких конкретных данных о толерантном значении дозы, о чем свидетельствует множество данных, приведенных выше из разных источников. Дополнительно, доза должна также быть еще исследована на предмет вероятности риска возникновения заболеваний ССС, таких, как, например, фиброзные изменения.

Далее, получено, что 10 и 20 % объема аорты получают среднюю дозу 28,37 и 27,26 Гр соответственно, что объяснимо близким расположением ее к мишени облучения (опухоли). Наблюдается очевидная корреляционная взаимосвязь: чем больше предписанная доза на опухоль и чем она ближе к грудному отделу аорты, тем больше дозную нагрузку несет аорта. Данная проблема требует детального изучения в силу того, что данные, представленные в табл. 4, указывают на необходимость обязательного оконтуривания аорты как критического органа, так как доза, которая приходится на грудной отдел аорты, является значительной по сравнению с сердцем. Помимо этого, важным остается исследование допустимого объема органа (аорты), на который может приходиться подобная доза (19,25 Гр) без последствий для здоровья пациента.

Это расширяет границы исследования и оставляет вопрос оконтуривания аорты открытым. Для регистрации изменений, которые могут происходить во время и после процедур лучевой терапии, необходимо использовать следующие диагностические методы: электрокардиография, эхокардиография, МСКТ органов грудной клетки, ангиография, анализ биомаркеров повреждения сердечной мышцы.

Заключение

Принимая во внимание, что подавляющее большинство пациентов с лимфомой средостения – это лица молодого и репродуктивного возраста с хорошим прогнозом по продолжительности жизни, имеется большая вероятность того, что эти пациенты перейдут в ряды кардиологических пациентов. И здесь важнейшей задачей врача остается обеспечение надлежащего качества жизни пациентов, своевременная диагностика и коррекция состояний, связанных с лучевым повреждением сердца, и, конечно же, снижение риска возникновения этих проявлений путем уменьшения лучевой нагрузки на сердце.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Имянитов Е.Н. Эпидемиология и биология лимфомы Ходжкина // Практическая онкология. 2007. Т. 8. №2. С. 53–56.
2. Аль-Ради Л.С., Барях Е.А., Белоусова И.Э. и соавт. Клинические рекомендации по диагностике и лечению лимфопролиферативных заболеваний. Общероссийский союз общественных объединений ассоциация онкологов России. 2014.
3. Поддубная И.В. Факторы прогноза при диффузной крупноклеточной В-клеточной лимфоме [Электронный ресурс] / И.В. Поддубная, Л.Г. Бабичева // Материалы VIII Российского онкологического конгресса. М. 2004. URL: <http://www.rosoncweb.ru/library/journals/practical.../arh019/> (дата обращения: 26.05.2017).

4. Ильин Н.В. Место в лучевой терапии в лечении злокачественных лимфом // Материалы конгрессов и конференций [Электронный ресурс] / Н.В. Ильин // V Российская онкологическая конференция. Источник: RosOncoWeb.Ru (дата обращения: 27.04.2017).
5. Ильин Н.В., Виноградова Ю.Н. Поздние осложнения терапии больных лимфомой Ходжкина // Практическая онкология. 2007. Т.8. №2. С. 96–101.
6. Aleman B.M., van Leeuwen F.E. Late toxicity in patients treated for Hodgkin's lymphoma // Hematology. 2006. Vol. 2. № 1. P. 172–179.
7. Aleman B.M., Belt-Dusebout A.W., de Bruin M.L. et al. Late cardiotoxicity after treatment for Hodgkin lymphoma // Blood. 2007. Vol. 109. № 5. P. 1878–1886.
8. Aleman B.M., Belt-Dusebout A.W., Klokman W.J. et al. Longterm cause specific mortality of patients treated for Hodgkin's disease // J. Clin. Oncol. 2003. Vol. 21. P. 3431–3439.
9. Groarke J.D., Nguyen P.L., Nohria A. et al. Cardiovascular complications of radiation therapy for thoracic malignancies: the role for non-invasive imaging for detection of cardiovascular disease // Europ. Heart J. 2014. Vol. 35. P. 612–623.
10. Byrd B.F., Mendes L.A. Cardiac complications of mediastinal radiotherapy. The other side of the coin // J. Amer. Coll. Cardiol. 2003. Vol. 42. P. 750–751.
11. Yusuf S.W., Sami S., Daher I.N. Radiation-induced heart disease: a clinical update // Cardiol. Res. Practice. 2011. Article ID 317659. <http://dx.doi.org/10.4061/2011/317659>, 9 pp.
12. Gagliardi G., Constine L.S., Moiseenko V. et al. Radiation dose-volume effects in the heart // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2010. Vol. 76. № 3. P. 77–85.
13. Bovelli D., Plataniotis G., Roila F. Cardiotoxicity of chemotherapeutic agents and radiotherapy-related heart disease: ESMO Clinical Practice Guidelines // Ann. Oncol. 2010. Vol. 21. P. 277–282.
14. Moreira L.A.R., Silva E.N., Ribeiro M.L. Cardiovascular effects of radiotherapy on the patient with cancer // Rev. Assoc. Med. Bras. 2016. Vol. 62. № 2. P. 192–196.
15. Cooper B.T., Li X., Shin S.M. et al. Preplanning prediction of the left anterior descending artery maximum dose based on patient, dosimetric, and treatment planning parameters // Adv. Radiat. Oncology. 2016. Vol. 1. P. 373–381.
16. Beck R.E., Kim L., Yue N. J. et al. Treatment techniques to reduce cardiac irradiation for breast cancer patients treated with breast-conserving surgery and radiation therapy: a review // Front. Oncol. 4:327. doi: 10.3389/fonc. 2014. 00327.
17. Jaggi R., Moran D.J.M., Marc L.P., Marsh R.B. et al. Respiratory motion of the heart and positional reproducibility under active breathing control // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2007. Vol. 68. № 1. P. 253–258.
18. Sung K., Lee K.C., Lee S.H. et al. Cardiac dose reduction with breathing adapted radiotherapy using self-respiration monitoring system for left-sided breast cancer // Radiat. Oncol. J. 2014. Vol. 32. № 2. P. 84–94.
19. Latty D., Stuart K.E., Wang W. et al. Review of deep inspiration breath-hold techniques for the treatment of breast cancer // J. Med. Radiat. Sci. 2015. Vol. 62. № 1. P. 74–81.
20. Vlachaki M.T., Kuma S. Helical tomotherapy in the radiotherapy treatment of Hodgkin's disease – a feasibility study // J. All Appl. Clin. Med. Phys. 2010. Vol. 11. № 1. P. 3042.
21. Johansen S., Tjessens K.H., Fosså K. et al. Dose distribution in the heart and cardiac chambers following 4-field radiation therapy of breast cancer: a retrospective study // Breast Cancer: Basic and Clin. Res. 2013. Vol. 7. P. 41–49.
22. Большая медицинская энциклопедия. Том 2. Под ред. Б.В. Петровского. – М.: Сов. энциклопедия. 1975. 608 с.

DOI 10.12737/article_59f2fe1f592407.71438587

A Correlation between Radiotherapy Dose on the Mediastinal Lymphoma and Cardiovascular Dose with Using Respiratory Control System

E.V. Filatova, O.N. Lamanova, P.V. Filatov, A.A. Zheravin

E.N. Meshalkin Siberian Federal Biomedical Research Center, Novosibirsk, Russia. E-mail: e_filatova@meshalkin.ru

E.V. Filatova – Medical Physicist; O.N. Lamanova – Radiologist; P.V. Filatov – Medical Physicist;

A.A. Zheravin – PhD Med., Head of Oncology and Radiology Center

Abstract

Purpose: To find a correlation between prescribed dose on the irradiation area and dose on heart and ascending aorta, using the breath holding method in classical radiotherapy course for patients with Hodgkin and non-Hodgkin mediastinal lymphomas.

Material and methods: For patients of reproductive age with diagnose Hodgkin, non-Hodgkin mediastinal lymphomas we conducted radiotherapy with contouring of tumor and critical structures, include heart and ascending aorta. Radiotherapy was conducted on breath holding (ABC) for shielding radiation dose from heart, ascending aorta and lungs. We did calculations of length and diameter of the contoured aorta and dose that it and heart took. Also, we did correlation calculation of relationship between prescribed dose on the tumor and doses cover to the heart and aorta on 6 and 10 MV nominal energies.

Results: According to the protocol RTOG 1005 for the heart zone, exceeding the threshold level for $V_{20} < 5\%$ occurred in 11 cases out of 21, and 8 cases from them are for 10 MV energy. For $V_{10} < 30\%$ it happened in nine cases from 21, and seven cases from them are for 10 MV energy too. The correlation coefficient between the prescribed dose and the received dose for protocol RTOG 1005 $V_{10} < 30\%$ was 0.71 and it showed the highest value. This index is lower on 13 % for protocol RTOG 0623 (V_{67}) – 0.58, and it has the weakest coefficient correlation (V_{33}) – 0.45. The value of the correlation coefficient for the aorta decreased with an increase in the volume to which the prescribed dose of the irradiation area falls and, consequently 10 and 20 % of the aorta volume is getting a maximum value from the prescribed dose.

Conclusion: Our research showed what contouring of ascending aorta is obligatorily procedure, because the average dose on it was 10.73 Gy for 10 MV and 6.50 Gy for 6 MV energies. It is obvious that using 6 MV energy is more organ-preserving method of the radiotherapy treatment when using such techniques as ABC. It is a very important to study the issue of the permissible dose per volume of ascending aorta without critical consequences for cardiovascular system. In addition, it particularly important if we take into account that all patients had a chemotherapy course before radiation therapy which also caused cardiotoxicity.

Key words: mediastinal lymphoma, radiation therapy, respiratory control system, cardiotoxicity, cardiovascular system, heart, ascending aorta

REFERENCES

1. Imyaninov E.N. Epidemiology and biology of Hodgkin lymphoma // Practical oncology. – 2007. Vol. 8. № 2. P. 53–56. (in Russ/abstr. In Engl.)
2. Al-Radi L.S., Baryakh E.A., Belousova I.E., et al. Clinical recommendation for diagnostic and treatment lymphoproliferative diseases // All-Russian Union of Public Associations Association of Oncologists Russia. 2014. (in Russ/abstr. In Engl.)
3. Poddubnaya I.V. Prognosis factors in diffuse large-cell B-cell lymphoma [Available at] / I.V. Poddubnaya, L.G. Babicheva // Materials of the VIII Russian Cancer Congress. M. 2004. URL: <http://www.rosoncweb.ru/library/journals/practical.../arh019/> (accessed 26.05.2017) (in Russ.)
4. Ilin N.V. A Place in radiotherapy in the treatment of malignant lymphomas // Materials of congresses and conferences / N.V. Ilin // V Russian Cancer Conference. [Available at]: RosOncoWeb. Ru (accessed: 27.04.2017).
5. Ilin N.V., Vinogradova Ya.N. Late complications of therapy with patients with Hodgkin's lymphoma // Practical oncology. 2007. Vol. 8. № 2. P. 96–101. (in Russ/abstr. In Engl.)
6. Aleman B.M., van Leeuwen F.E. Late toxicity in patients treated for Hodgkin's lymphoma // Hematology. 2006. Vol. 2 (issue 1). P. 172–179.
7. Aleman B.M., Belt-Dusebout A.W., de Bruin M.L. et al. Late cardiotoxicity after treatment for Hodgkin lymphoma // Blood. 2007. Vol. 109. № 5. P. 1878–1886.
8. Aleman B.M., Belt-Dusebout A.W., Klokman W.J. et al. Longterm cause specific mortality of patients treated for Hodgkin's disease // J. Clin. Oncol. 2003. Vol. 21. P. 3431–3439.
9. Groarke J.D., Nguyen P.L., Nohria A. et al. Cardiovascular complications of radiation therapy for thoracic malignancies: the role for non-invasive imaging for detection of cardiovascular disease // Europ. Heart J. 2014. Vol. 35. P. 612–623.
10. Byrd B.F., Mendes L.A. Cardiac complications of mediastinal radiotherapy. The other side of the coin // J. Amer. Coll. Cardiol. 2003. Vol. 42. № 4. P. 750–751.
11. Yusuf S.W., Sami S., Daher I.N. Radiation-induced heart disease: a clinical update // Cardiol. Res. Practice. 2011. Article ID 317659. <http://dx.doi.org/10.4061/2011/317659>, 9 pp.
12. Gagliardi G., Constine L.S., Moiseenko V. et al. Radiation dose-volume effects in the heart // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2010. Vol. 76. № 3. P. 77–85.
13. Bovelli D., Plataniotis G., Roila F. Cardiotoxicity of chemotherapeutic agents and radiotherapy-related heart disease: ESMO Clinical Practice Guidelines // Ann. Oncol. 2010. Vol. 21. P. 277–282.
14. Moreira L.A.R., Silva E.N., Ribeiro M.L. Cardiovascular effects of radiotherapy on the patient with cancer // Rev. Assoc. Med. Bras. 2016. Vol. 62. № 2. P. 192–196.
15. Cooper B.T., Li X., Shin S.M. et al. Preplanning prediction of the left anterior descending artery maximum dose based on patient, dosimetric, and treatment planning parameters // Adv. Radiat. Oncology. 2016. Vol. 1. P. 373–381.
16. Beck R.E., Kim L., Yue N. J. et al. Treatment techniques to reduce cardiac irradiation for breast cancer patients treated with breast-conserving surgery and radiation therapy: a review // Front. Oncol. 4:327. doi: 10.3389/fonc. 2014. 00327.
17. Jagsi R., Moran D.J.M., Marc L.P., Marsh R.B. et al. Respiratory motion of the heart and positional reproducibility under active breathing control // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2007. Vol. 68. № 1. P. 253–258.
18. Sung K., Lee K.C., Lee S.H. et al. Cardiac dose reduction with breathing adapted radiotherapy using self-respiration monitoring system for left-sided breast cancer // Radiat. Oncol. J. 2014. Vol. 32. № 2. P. 84–94.
19. Latty D., Stuart K.E., Wang W. et al. Review of deep inspiration breath-hold techniques for the treatment of breast cancer // J. Med. Radiat. Sci. 2015. Vol. 62. № 1. P. 74–81.
20. Vlachaki M.T., Kuma S. Helical tomotherapy in the radiotherapy treatment of Hodgkin's disease – a feasibility study // J. All Appl. Clin. Med. Phys. 2010. Vol. 11. № 1. P. 3042.
21. Johansen S., Tjessem K.H., Fosså K. et al. Dose distribution in the heart and cardiac chambers following 4-field radiation therapy of breast cancer: a retrospective study // Breast Cancer: Basic and Clin. Res. 2013. Vol. 7. P. 41–49.
22. Big medical encyclopedia. Vol. 2. Ed. by B.V. Petrovsky. – M.: Soviet Encyclopedia. 1975. 608 pp.

DOI 10.12737/article_59f300494670a7.65219672

В.А. Климанов^{1,2}, Ж.Ж. Галяутдинова¹, Н.Н. Могиленец², В.В. Смирнов²
РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО СПЕКТРА ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
МЕДИЦИНСКИХ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ
ПО ГЛУБИННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМ ДОЗЫ В ВОДНОМ ФАНТОМЕ

1. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: vaklimanov@mail.ru
2. Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

В.А. Климанов – в.н.с., д.ф.-м.н., проф.; Ж.Ж. Галяутдинова – зав. лаб.; Н.Н. Могиленец – ст. преподаватель;
В.В. Смирнов – с.н.с., к.ф.-м.н., доцент

Реферат

Цель: Разработка методики реконструкции действующих спектров тормозного излучения медицинских линейных ускорителей электронов (ЛУЭ) для полей разных размеров по глубинным дозовым распределениям в водном фантоме и определение спектров фотонов для ЛУЭ Varian Trilogy при работе в режиме номинальной энергии фотонов 6 МВ.

Материал и методы: Предлагаемая методика основана на применении алгоритма дозовых ядер точечных моноэнергетических мононаправленных источников (тонких лучей (ТЛ)) для расчета глубинного дозового распределения, создаваемого пучками разного поперечного сечения в водном фантоме, и экспериментального измерения этих распределений. Для решения обратной задачи применяются подпрограммы Toolbox Optintool известного математического пакета MATLAB.

Результаты: Получены энергетические спектры тормозного излучения, генерируемые ЛУЭ Varian Trilogy при разных размерах квадратных полей от 3×3 до 40×40 см, и средние энергии фотонов в зависимости от размеров полей. Определены дозовые ядра для набора энергий ТЛ. Глубинные распределения дозы в водном фантоме, рассчитанные с использованием полученных спектров и дозовых ядер, хорошо согласуются с результатами проведенных в работе измерений распределений дозы.

Выводы: Предложенная методика реконструкции действующих спектров тормозного излучения ЛУЭ является вполне адекватной. Средняя энергия спектра тормозных фотонов ускорителя Varian Trilogy, работающего в режиме 6 МВ, изменяется в зависимости от размера полей от 1,71 до 1,43 МэВ.

Ключевые слова: лучевая терапия, медицинские ускорители, тормозное излучение, глубинные дозовые распределения, реконструкция спектров фотонов

Поступила: 30.05.2017. Принята к публикации: 21.09.2017

Введение

Постоянно возрастающие требования к точности дозиметрического планирования и значениям отпускаемых доз в дистанционной лучевой терапии (ЛТ) и в радиационных технологиях обычно приводят к необходимости определения выходных энергетических спектров тормозного излучения, генерируемых ЛУЭ. Эти спектры существенным образом зависят от конструкции гантри ЛУЭ и системы коллимации пучков. Кроме того, во многих ЛУЭ для создания однородного распределения дозы, как правило, на глубине 10 см в водном фантоме, на пути пучков располагают сглаживающие фильтры. Они имеют сложную конусообразную форму, что приводит к увеличению поглощения фотонов с уменьшением угла между направлением их траектории и геометрической осью пучка. В результате действующий спектр фотонов становится зависимым от размеров поля.

В современных системах дозиметрического планирования (СДП), в которых для расчета дозы используется метод дозовых ядер (англ. kernel method), этот эффект пытаются учитывать, применяя усреднение дозовых ядер по разным спектрам в зависимости от размера поля и положения точек расчета дозы. Инструментальные методы прямого непосредственного измерения спектров пучка очень затруднительны из-за чрезвычайно высоких значений интенсивности в используемых в ЛТ пучках фотонов. Поэтому имеющаяся в литературе информация по этому вопро-

су была в основном получена либо расчетным путем с помощью метода Монте-Карло, например, в работах [1–4], либо непрямым методом реконструкции спектра на основании результатов измерений некоторых интегральных характеристик полей тормозного излучения, например, в работах [5–7]. Однако приводимые в этих работах спектры достаточно сильно отличаются между собой, причем не учитывается зависимость спектра от размеров поля. Например, средняя энергия действующего спектра пучка ЛУЭ с номинальной энергией 6 МВ изменяется в работах [1–4] от 1,685 МэВ [4] до 2,686 МэВ [3]. Отметим также, что так как спектр фотонов клинических пучков зависит от особенностей конструкции гантри ЛУЭ, и эти конструкции от модели к модели существенно различаются, то, строго говоря, следует определять спектры для каждой модели и даже конкретного экземпляра ЛУЭ индивидуально.

Учитывая данные обстоятельства, целью настоящей работы являлось совершенствование метода реконструкции действующего спектра пучков тормозного излучения ЛУЭ по глубинным распределениям дозы, измеренным в водном фантоме для полей разных размеров, и применение метода к реконструкции спектра для ускорителя Clinac-Trilogy компании Varian при работе в режиме с номинальной энергией 6 МВ.

Материал и методы

Методика реконструкции спектра тормозных фотонов ЛУЭ, примененная в данной работе, основана

на алгоритме тонкого луча (ТЛ) или точечного мононаправленного моноэнергетического источника (англ. pencil beam kernel). В настоящее время различные варианты этого алгоритма широко используются для расчета дозовых распределений в дистанционной фотонной ЛТ, в частности метод дозовых ядер ТЛ. Дозовое ядро определяется как относительная доля от энергии фотонов ТЛ, нормально падающего на полубесконечную водную среду в точке $\vec{r}'$, которая поглощается в единице объема среды вблизи точки расчета $\vec{r}$. Дозовое ядро ТЛ зависит от положения точки $\vec{r}$ относительно точки $\vec{r}'$ и от начальной энергии фотонов E_0 . Будем обозначать его через $K(E_0, \vec{r}' - \vec{r})$. При использовании цилиндрической системы координат с началом в точке падения ТЛ (рис. 1а), дозовое ядро становится функцией глубины точки расчета z и расстояния r от оси ТЛ – $K(E_0, z, r)$.

Предполагая пространственную инвариантность дозового ядра ТЛ, значение дозы, создаваемое в водном фантоме на глубине z на оси конусного пучка фотонов, расходящегося из точки мишени ЛУЭ (рис. 1б), можно определить из уравнения:

$$D(z) = \frac{2\pi \cdot \Phi_0}{(1 + z/F)^2} \int_0^{E_{\max}} f(E) \cdot dE \int_0^{R_z} r \cdot K(E, z, r) \cdot dr = \frac{\Phi_0}{(1 + z/F)^2} \int_0^{E_{\max}} f(E) \cdot K_{\text{int}}(E, z, R_z) \cdot dE, \quad (1)$$

где Φ_0 – флюенс энергии фотонов на поверхности водного фантома в пределах круглого сечения поля излучения в предположении однородного распределения флюенса по радиусу r ; $f(E)$ – энергетический спектр падающего на фантом пучка фотонов; $E_{\max}$ – максимальная энергия фотонов в спектре; F – расстояние от мишени до поверхности фантома; R_z – радиус поля на глубине z , равный $R_z = R_0 \cdot (1 + z/F)$; R_0 – радиус поля на поверхности фантома; $K_{\text{int}}(E, z, R)$ – согласно терминологии, предложенной в работе [8], интегральная форма дозового ядра ТЛ фотонов с энергией E , равная:

$$K_{\text{int}}(E, z, R) = 2\pi \int_0^R r \cdot K(E, z, r) \cdot dr. \quad (2)$$

Если теперь имеются экспериментальные данные по распределению поглощенной дозы вдоль оси пучка на разных глубинах z_i в водном фантоме и известны значения интегрального дозового ядра в этих же точках для достаточно детального набора энергий E_j , то уравнение (1) можно переписать в дискретной форме:

$$D(z_i) \cong \frac{\Phi_0}{(1 + z_i/F)^2} \sum_{j=1}^N f(E_j) \cdot K_{\text{int}}(E_j, z_i, R_{z_i}) \cdot \Delta E, \quad (3)$$

где N – число энергий, для которых известны интегральные дозовые ядра; $f(E_j)$ – число фотонов в спектре падающего пучка в интервале ΔE .

Отметим, что обобщение задачи реконструкции спектра из уравнения (3) на случай неоднородного распределения флюенса на поверхности фантома не представляет особой трудности, если это распределение является функцией только радиуса.

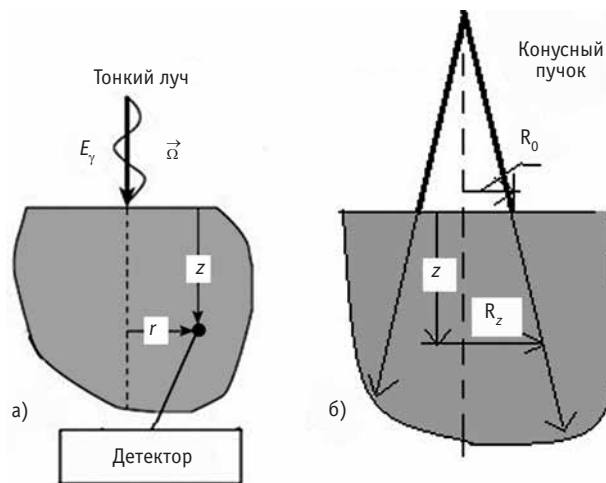


Рис. 1. Геометрия тонкого луча (а) и конусного пучка фотонов (б)

Таким образом, мы пришли к классической постановке обратной задачи по восстановлению спектра частиц из системы уравнений, в которых известны левые части и интегральные ядра в правых частях уравнений. Данная задача относится к классу некорректных обратных задач, имеющих, вообще говоря, множество решений. Их решение производится обычно с использованием итерационных алгоритмов и начального приближения к искомому спектру. Итоговая неопределенность сильно зависит от обусловленности матрицы интегрального дозового ядра и удачного выбора начального приближения к спектру.

Дозовые распределения в воде для геометрии ТЛ рассчитывались методом Монте-Карло по программе *EGSnrc* [9], являющейся улучшенной версией кода *EGS4*. В частности, существенной модификации подверглось моделирование транспорта низкоэнергетических фотонов и электронов, были включены в рассмотрение учет связи электронов в атоме и процессы релаксации атомов после комптоновского рассеяния и фотопоглощения фотонов и др. В настоящее время *EGSnrc* является в каком-то смысле «золотым стандартом» для расчета доз, создаваемых фотонами и электронами средних и низких энергий.

При моделировании траекторий заряженных частиц в *EGSnrc* применяется метод конденсированных столкновений с изменяющимся значением потери энергии на укрупненном шаге. В работе расчет проводился для набора энергий моноэнергетических ТЛ в диапазоне от 0,25 до 5,75 МэВ с приращением 0,5 МэВ с 2 % потерей энергии на укрупненном шаге заряженных частиц до достижения статистической погрешности 1 %. Результатом расчета по *EGSnrc* являются значения поглощенных доз в выделенных областях. Из этих данных были определены дозовые ядра ТЛ в интегральной и дифференциальной формах.

Измерение глубинных распределений дозы на геометрической оси пучков тормозного излучения, для ЛУЭ Varian Trilogy, было выполнено в водном фантоме

ме марки PTW WATER TANK mp3 с помощью ионизационных камер PTW 31010 Semiflex 0.125 № 03281 и № 03282, а также PTW 31016 № 486 (PinPoint) для набора из восьми квадратных полей размерами от 3×3 до 40×40 см. Переход от квадратных полей к эквивалентным полям с круглым поперечным сечением по отношению к осевому распределению дозы был сделан на основе сохранения площади полей.

Решение уравнения (3) относительно спектра фотонов проводилось в два этапа. На первом этапе использовался метод нелинейной регрессии, реализованный в подпрограмме *lsqcurvefit* математического пакета MATLAB7. Эта подпрограмма провела итерационный подбор значений спектра в отдельных энергетических группах, минимизируя среднеквадратичное отклонение получающегося расчетного распределения дозы (в соответствии с уравнением (3)) от экспериментальных данных для конкретного размера поля. За начальное приближение к спектру был выбран спектр тормозных фотонов 6 МВ ускорителя компании Varian Trilogy, падающих на фантом в пределах круга радиусом $r \leq 2,5$, который был рассчитан в работе [4] методом Монте-Карло по программе BEAM [10].

На втором этапе для более точного подбора спектра применялась подпрограмма *genetic* оптимизационного Toolbox математического пакета MATLAB7. В этой подпрограмме ищется минимум целевой функции с помощью случайного поиска, управляемого генетическим алгоритмом. За целевую функцию в этом случае бралась сумма квадратов отклонений расчетных значений осевого распределения дозы от измеренных значений дозы. Значения спектра, полученные на первом этапе, использовались для начального приближения.

Таким образом, решение обратной задачи относительно энергетического спектра пучка фотонов проводилось для каждого размера поля отдельно, так что в результате получены энергетические распределения, усредненные по площади конкретных полей. Эти спектры можно назвать действующими с точки зрения совпадения дозовых распределений, рассчитанных по уравнению (3) с использованием этих спектров, с экспериментальными данными.

Результаты и обсуждение

Описанная выше методика была использована для реконструкции действующих спектров тормозного излучения ЛУЭ Varian Trilogy, работающего в режиме генерации пучка с номинальной энергией фотонов 6 МВ, для размеров квадратных полей на поверхности водного фантома $3,0 \times 3,0$; $4,0 \times 4,0$; $6,0 \times 6,0$; $8,0 \times 8,0$; $10,0 \times 10,0$; $20,0 \times 20,0$; $30,0 \times 30,0$ и 40×40 см. Для примера на рис. 2 показаны полученные в работе спектры тормозных фотонов, усредненные в пределах размеров трех эквивалентных круглых полей и нормированные на один падающий фотон. Представленные данные демонстрируют увеличение вклада низкоэнергетической части

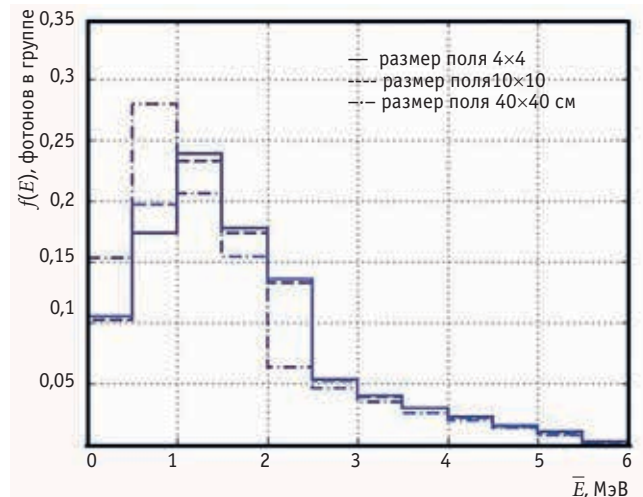


Рис. 2. Действующие энергетические спектры тормозных фотонов на поверхности водного фантома, усредненные в пределах трех круглых полей, эквивалентных по площади квадратным полям, для ЛУЭ Clinac-Trilogy при работе в режиме генерации пучка 6 МВ

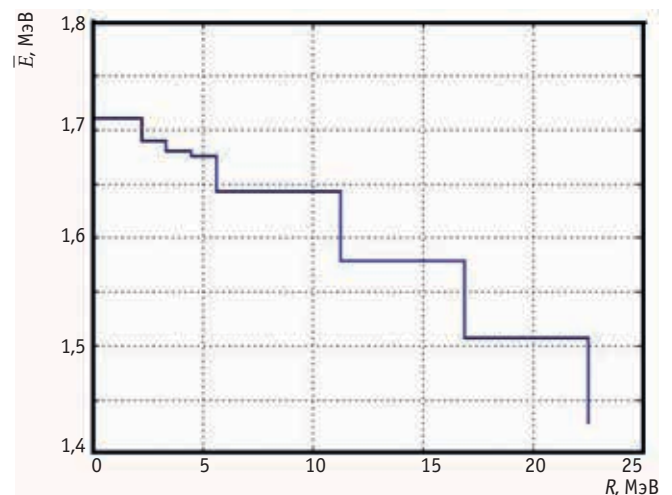


Рис. 3. Зависимость средней энергии тормозных фотонов, падающих на поверхность водного фантома в пределах круглых полей, эквивалентных по площади поперечным сечениям соответствующих квадратных полей, от радиусов круглых полей для ЛУЭ Varian Trilogy при работе в режиме генерации пучка 6 МВ

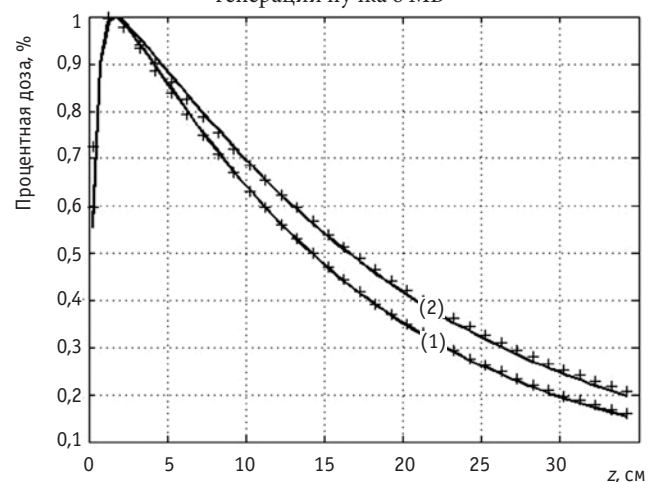


Рис. 4. Сравнение измеренного (+) и расчетного (линия) распределений процентной дозы для квадратных полей 4×4 (1) и 10×10 см (2) в водном фантоме для соответствующих значений реконструированных спектров тормозного излучения

спектра с увеличением размера поля. Этот эффект еще более наглядно иллюстрируется на рис. 3, где показана зависимость средней энергии тормозных фотонов от размеров радиуса круглых полей на поверхности водного фантома, эквивалентных по площади квадратным полям.

Вычисленные спектры были использованы для расчета глубинных дозовых распределений с помощью метода дозовых ядер ТЛ в соответствии с уравнением (3). В качестве примера на рис. 4 приводится сравнение глубинных зависимостей процентной дозы в водном фантоме, полученных экспериментально и рассчитанных по формуле (3) для квадратных полей размером 4×4 и 10×10 см. Отличие расчетных значений от экспериментальных данных для глубин, превышающих область накопления дозы (build up), для всех размеров полей, кроме 30×30 и 40×40 см, не превысило 2,0 %. Для больших полей различие в дозе достигло 3,5 % при $z \geq 30$ см. В этом случае причиной большего расхождения является, по-видимому, неучет наклонного падения части фотонов пучка.

Выводы

1. Предложен относительно простой и надежный метод реконструкции действующих спектров тормозного излучения медицинских линейных ускорителей по глубинным распределениям дозы в водном фантоме.

2. Метод базируется на результатах предварительного расчета дозовых ядер моноэнергетических ТЛ в воде в интервале энергий, соответствующему восстанавливаемому спектру.

3. Для получения значений дозовых ядер возможно применение свободно распространяемого кода *EGSnrc*, для решения же обратной задачи реконструкции спек-

тра можно использовать Toolbox Optintool математического пакета MATLAB.

Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ (Договор № 02.a03.21.0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mohan R., Chui C., Lidofsky L. Energy and angular distributions of photons from medical linear accelerators // *Med. Phys.* 1985. Vol. 12. P. 592–597.
2. Ahnesjo A., Saxner M., Trepp A. A pencil beam model for photon dose calculation // *Med. Phys.* 1992. Vol. 19. № 2. P. 263–273.
3. Ulmer W., Harder D. Application of a triple Gaussian photon pencil beam model for photon beam treatment planning // *Z. Med. Phys.* 1995. Vol. 5. P. 25–30.
4. Sheikh-Bagheria D., Rogers D. W. O. Monte Carlo calculation of nine megavoltage photon beam spectra using the BEAM code // *Med. Phys.* 2002. Vol. 29. № 3. P. 391–402.
5. Ahnesjo A., Andreo P. Determination of effective bremsstrahlung spectra and electron contamination for photon dose calculations // *Phys. Med. Biol.* 1989. Vol. 34. № 10. P. 1451–1464.
6. Rimar M., Nolic D., Krstonosic P. A simple method for bremsstrahlung spectra reconstruction from transmission measurements // *Med. Phys.* 2002. Vol. 29. № 6. P. 932–938.
7. Климанов В.А., Смирнов В.В., Журов В.Ю., Семенов Ю.В. Реконструкция эффективного спектра тормозного излучения по пространственным дозовым профилям и глубинному дозовому распределению // *Мед. физика*. 2011. № 2(50). С. 23–30.
8. Климанов В.А., Моисеев А.Н., Могиленец Н.Н. Аналитическая аппроксимация дозового ядра тонкого луча фотонов со спектром терапевтического аппарата РОКУС // *Мед. физика*. 2015. № 2(66). 2015. С. 7–15.
9. Kawrakow I. Accurate condensed history Monte Carlo simulation of electron transport. I. EGSnrc, the new EGS4 version // *Med. Phys.* 2000. Vol. 27. P. 485–498.
10. Rogers D. W. O., Faddegon B. A., Ding G. X. et al. BEAM: A Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units // *Med. Phys.* 1995. Vol. 22. P. 503–524.

DOI 10.12737/article_59f300494670a7.65219672

Reconstruction of Bremsstrahlung Spectrum of Medical Electron Linear Accelerators from Deep Dose Distributions in Water Phantom

V.A. Klimanov^{1,2}, J.J. Galjautdinova¹, N.N. Mogilenets², V.V. Smirnov²

1. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia, Moscow, Russia. E-mail: vaklimanov@mail.ru.

2. National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

V.A. Klimanov – Leading Researcher, Dr. Sc. Phys.-Math., Prof., Member of AAPM; J.J. Galjautdinova – Head of Lab.; N.N. Mogilenets – Senior Lecturer; V.V. Smirnov – Leading Researcher, PhD Phys.-Math., Associated Prof.

Abstract

Purpose: Development of the bremsstrahlung spectrum reconstruction method of medical electron linear accelerators (ELA) with different field sizes, on the base of the deep dose distributions in a water phantom and determination of photon spectra for Varian Trilogy accelerator 6 MV.

Material and methods: The proposed methodology is based on the use of dose kernels algorithm of point monoenergetic monodirectional source (pencil beam (PB)) for the deep dose distribution calculation, created different cross-section beams in a water phantom, and experimental measurements of these distributions. For solving the inverse problem is applied Toolbox routines 'ptimtool' knowing mathematical package MATLAB to solve.

Results: Bremsstrahlung energy spectrum generated medical accelerator Varian Trilogy with different sizes of square fields from 3×3 up to 40×40 cm and average energy photons, depending on the size of the fields were received. Dose kernels for a set of defined energies PB were calculated. Depth dose distribution in a water phantom, calculated using the obtained spectra and dose kernels agree well with measurement dose distributions.

Conclusion: The proposed technique reconstruction of bremsstrahlung spectrum of electron linear accelerator is adequate. Average energy spectra of bremsstrahlung photons for Varian Trilogy Accelerator in regime 6 MV varies from 1.71 to 1.43 MeV depending on the field size.

Keywords: radiation therapy, medical accelerators, bremsstrahlung, deep dose distributions, reconstruction of the photon spectrums

REFERENCES

1. Mohan R., Chui C., Lidofsky L. Energy and angular distributions of photons from medical linear accelerators // Med. Phys. 1985. Vol. 12. P. 592–597.
2. Ahnesjo A., Saxner M., Trepp A. A pencil beam model for photon dose calculation // Med. Phys. 1992. Vol. 19. № 2. P. 263–273.
3. Ulmer W., Harder D. Application of a triple Gaussian photon pencil beam model for photon beam treatment planning // Z. Med. Phys. 1995. Vol. 5. P. 25–30.
4. Sheikh-Bagheria D., Rogers D. W. O. Monte Carlo calculation of nine megavoltage photon beam spectra using the BEAM code // Med. Phys. 2002. Vol. 29. № 3. P. 391–402.
5. Ahnesjo A., Andreo P. Determination of effective bremsstrahlung spectra and electron contamination for photon dose calculations // Phys. Med. Biol. 1989. Vol. 34. № 10. P. 1451–1464.
6. Rimar M., Nicolic D., Krstonosic P. A simple method for bremsstrahlung spectra reconstruction from transmission measurements // Med. Phys. 2002. Vol. 29. № 6. P. 932–938.
7. Klimanov V.A., Smirnov V.V., Jyrov V.U., Semenov U.V. Rekonstrukciya effektivnogo spectra tormoznogo izluchenia po prostanstvennyim dozoviyam profilyam I glubinnomu dozovomu raspredeleniu // Med. fizika. 2011. № 2(50). P. 23–30.
8. Klimanov V.A., Moiseev A.N., Mogilenec N.N. Analiticheskaya aproximaciya dozovogo yadra tonkogo luchu fotonov co spectrum terapevticheskogo apparata ROKUS // Med. fizika. 2015. № 2(66). P. 7–15.
9. Kawrakow I. Accurate condensed history Monte Carlo simulation of electron transport. I. EGSnrc, the new EGS4 version // Med. Phys. 2000. Vol. 27. P. 485–498.
10. Rogers D. W. O., Faddegon B. A., Ding G. X. et al. BEAM: A Monte Carlo code to simulate radiotherapy treatment units // Med. Phys. 1995. Vol. 22. P. 503–524.

DOI 10.12737/article_59f30321207ef4.88932385

О.К. Курпешев¹, J. van der Zee²**ЛОКОРЕГИОНАРНАЯ ГИПЕРТЕРМИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ:
МЕТОДИКИ, ТЕРМОМЕТРИЯ, АППАРАТУРА**

1. Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф. Цыба, Обнинск. E-mail: kurpeshev-ok@yandex.ru
2. Онкологический институт Эразмусского медицинского центра, Роттердам, Нидерланды

О.К. Курпешев – д.м.н., зав. отделением локальной и общей гипертермии, член Европейского общества по гипертермической онкологии (ESHO)

J. van der Zee – Ph.D., MD, член Европейского общества терапевтической радиологии и онкологии (ESTRO) и Европейского общества по гипертермической онкологии (ESHO)

Реферат

Представлен аналитический обзор по основным методикам радиочастотной гипертермии (ГТ), термометрии, характеристикам некоторых гипертермических аппаратов для локорегионарного нагрева. Все способы локорегионарной гипертермии (ЛРГТ) направлены на создание равномерного распределения температуры в опухоли в диапазоне 41–46 °С, без перегрева нормальных тканей. Однако это не всегда достижимо, особенно для глубокорасположенных опухолей, в связи с определенными ограничениями или недостатками, имеющимися в каждой установке. Проведение сеансов ЛРГТ является сложной процедурой, и поэтому гипертермическое лечение остается привилегией крупных онкологических клиник. В силу конструктивных особенностей гипертермических аппаратов, а также неоднородного распределения электромагнитного (ЭМ) излучения в органах и тканях (опухолях) при различных частотах, существуют только общие подходы к проведению ЛРГТ, стандарты лечения отсутствуют. Они должны разрабатываться для конкретного аппарата на основании экспериментальных и клинических исследований. Общей проблемой для всех гипертермических установок является несовершенство контроля температуры. Ее решением в ближайшей перспективе является применение магнитно-резонансной томографии (МРТ) или ультразвука (УЗ). Для проведения ЛРГТ глубокорасположенных опухолей в основном используется ёмкостный способ подведения тепла или излучательные аппликаторы с фазированными антенными решетками. Ограничивающим фактором ёмкостной ЛРГТ является перегрев подкожно-жировой клетчатки (ПЖК). ЛРГТ поверхностных опухолей лучше проводить с помощью излучательных аппликаторов, так как при этом методе имеет место оптимальное распределение температуры, и ее воздействию подвергается меньший объем тела больного, по сравнению с ёмкостным способом нагрева. Эффективность излучательного способа нагрева определяется частотой используемого ЭМ-излучения. Однако при этом методе из-за высокого градиента температуры высока вероятность перегрева поверхностных тканей.

Ключевые слова: гипертермия, электромагнитные поля, радиочастотное излучение, ультразвуковое излучение, лазерное излучение, термометрия, гипертермические аппараты, злокачественные опухоли

Поступила: 27.03.2017. Принята к публикации: 12.07.2017

Способы управляемой гипертермии

В онкологии под гипертермией (ГТ) понимают нагрев опухоли в диапазоне 39–46 °С в течение 30–120 мин и более с целью усиления действия лучевой, лекарственной, иммунно- и гормонотерапии опухолей [1–6]. Режим 39–40 °С с продолжительностью 180 мин и более используется при общей ГТ, 41–46 °С с длительностью 30–120 мин – при локорегионарной ГТ (ЛРГТ).

Нагревание опухоли в пределах 46–80 °С называется термотерапией, свыше 80 °С – аблацией, при которых, соответственно, реализуются чисто повреждающий или коагулирующий эффекты высокой температуры.

По способу создания искусственная ГТ может быть эндогенной, возникающей при введении пирогенов в организм, и экзогенной, создаваемой за счет подачи энергии извне. Эндогенная ГТ может быть только общей и неуправляемой, экзогенная – общей, регионарной, локальной и, как правило, управляемой.

По способу доставки энергии экзогенная ГТ подразделяется на кондуктивную и радиационную. В первом случае опухоль греется за счет теплопередачи и теплопереноса кровотоком от нагретых сред, во втором – тепло образуется за счет поглощения энергии внешнего излучения [7].

Кондуктивная ГТ делится на:

- локальную – проводимую с помощью подведения тепла к опухоли извне с использованием нагретого тела или обдувания горячим воздухом;

- перфузионную: интраплевральная, интраперитонеальная, перфузия отдельных органов (печени, конечности, мочевого пузыря);
- общую – гипертермия всего тела, осуществляемая с помощью водяной бани, горячим сухим воздухом или экстракорпоральным нагревом крови.

К радиационной ГТ относится нагрев с помощью электромагнитных (ЭМ) или ультразвуковых (УЗ) волн. По объему нагрева и способу подведения тепла к опухоли ее можно разделить на 3 вида:

- локальная:
 - наружная;
 - внутриволостная;
 - внутритканевая;
- регионарная;
- общая.

Локальная радиационная ГТ проводится в пределах визуально наблюдаемых границ опухоли или границ, определяемых инструментальными методами. В регионарной ГТ предусматривается воздействие на пораженный опухолевым процессом орган в целом, с захватом регионарных лимфоузлов.

Основными требованиями, предъявляемыми к ГТ, являются управляемость температурными режимами и безопасность.

Кондуктивная ГТ имеет один существенный и принципиальный недостаток, заключающийся в ее физической природе, – высокий градиент температуры. По этой причине интраплевральная и интраперитонеальная гипертермия при канцероматозе брюшины

или плевры эффективны при размерах метастазов в пределах 2,5–5 мм [8–11]. Высокий градиент температуры создает высокий риск термического повреждения нормальных тканей: при наружном нагреве – для кожи, орошении полости органа горячим раствором – слизистой оболочки, артериальной перфузии – эндотелия сосудов. В последнем случае высока вероятность и тромбообразования. При перфузионной гипертермии, из-за усиленного отвода тепла из сосудов в окружающую ткань и низкого кровотока в опухоли температура в центре новообразования значительно ниже исходной температуры перфузионного раствора [12, 13]. По этой причине для уменьшения потери тепла при перфузии конечности используется согревающее одеяло [13].

При радиационной ГТ излучение генерирует тепловую энергию непосредственно внутри опухоли [7, 14, 15]. Эффективность ее зависит от характера используемого излучения. При использовании света, лазерного или инфракрасного излучений эффективность нагрева незначительно отличается от кондуктивных методов (глубина нагрева не более 10 мм), хотя имеются некоторые преимущества. При использовании лазерного излучения существует возможность более точной локализации «теплового пятна», и оно способно проникать через прозрачные среды, что позволяет проводить термическую деструкцию опухолей сетчатки глаза. Более эффективный нагрев был получен при использовании УЗ или ЭМ-поля в радиочастотном (РЧ) диапазоне: сверхвысокочастотное (СВЧ), ультравысокочастотное (УВЧ) и высокочастотное (ВЧ) излучения (в работе использована старая классификация радиочастотных волн).

Ультразвук для ГТ в клинике используется редко. В основном применяется высокоинтенсивный сфокусированный ультразвук (high intensity focused ultrasound – HIFU) для термотерапии. Положительной стороной ультразвуковой ГТ (УЗГТ) является малый угол расхождения. Это свойство позволяет сконцентрировать энергию в малом объеме ткани [16]. Однако УЗГТ имеет и ряд недостатков. На границе раздела мышечной и костной ткани отражается до 30 % энергии. Еще меньше энергии проникает в органы с воздушной прослойкой. Поэтому с помощью УЗ излучения практически невозможно провести ГТ опухолей в воздушносодержащих органах: легких, носоглотке, желудочно-кишечном тракте. Следует отметить, что биологические эффекты УЗ не являются чисто тепловыми и в значительной степени связаны с механическими колебаниями молекул.

По способу нагрева радиочастотная гипертермия (РЧГТ) делится на ёмкостную, излучательную и индуктивную. Ёмкостной нагрев осуществляется частотами 3–50 МГц, излучательный – более 40 МГц, индуктивный – УВЧ и ВЧ магнитными полями. Преимуществом магнитных полей является меньший нагрев подкожно-жировой клетчатки (ПЖК) по сравнению с кожей и мышечной тканью. Однако избирательный нагрев опухолей внутренних органов при этом способе стан-

дартными индуктивными излучателями затруднен по трем причинам: 1) магнитные силовые линии концентрируются непосредственно вокруг витков катушки, и с увеличением расстояния концентрация их резко снижается; 2) вихревые токи, возникающие в тканях с относительно высокой электропроводностью (кожа и мышцы), препятствуют проникновению магнитного поля в глубину ткани; 3) магнитное РЧ-поле не способно проникать под жировой слой глубже 1–2 см [14].

Для характеристики влияния РЧ-поля на организм человека используется показатель плотности потока, измеряемый в Вт/см², и значение удельной поглощенной мощности (УПМ), измеряемый в Вт/кг. Международное название УПМ – Specific Absorption Rate (SAR). Этот показатель характеризует значение поглощенной мощности единицей объема или единицей массы нагреваемой ткани. УПМ зависит от направленности электрического и магнитного компонентов РЧ-излучения [7, 14]. В организме человека и животных поглощение РЧ-поля происходит неоднородно в связи с неодинаковыми диэлектрическими характеристиками тканей. Поэтому каждая частота РЧ-волн для гипертермии опухолей имеет свои преимущества и недостатки. Максимальное поглощение энергии радиоволн происходит в органах и тканях, где содержание воды больше (мышцы и кровь), и, соответственно, в них происходит более выраженный нагрев. В тканях, где содержание воды низкое (костная и жировая ткань), нагрев тканей менее выражен. Наш опыт показывает, что эти ткани повреждаются опосредованно через перегрев надкостницы и надхрящницы, которые содержат больше воды.

При РЧГТ частота излучения и способ нагрева являются основными факторами, определяющими возможности проведения ГТ в оптимальном режиме. Эффективность ее зависит от глубины залегания патологического очага, состояния кровотока в нем и степени развития ПЖК. В этой связи, для достижения терапевтических температурных режимов (40–46 °С) в опухоли выпускают гипертермические установки, работающие в широком диапазоне РЧ-излучения: 2450; 915; 433,94; 40,68; 27,0; 13,56; 8,0 МГц [14].

Преимуществом РЧГТ является возможность концентрации энергии в биомассе (опухоли) с помощью аппликаторов соответствующего размера. Глубина нагрева регулируется выбором частоты. С ростом частоты излучения увеличивается интенсивность поглощения ЭМ-энергии, следовательно, уменьшается глубина ее проникновения в ткани. С помощью различных подходов в значительной степени можно избавиться от указанного недостатка. Первый подход связан с использованием длинноволновых РЧ-излучений, которые позволяют нагревать опухоли локализованные глубоко в тканях. В этом случае, для предотвращения перегрева кожи и ПЖК, можно применить принудительное охлаждение кожного покрова. Второй подход – с индукцией тепла непосредственно в опухоли путем введения игольчатых аппликаторов (внутриканальная ГТ) или ферромагнетиков и с после-

дующим наружным облучением ЭМ полем с частотой 100–800 кГц. Третий подход – с фокусировкой РЧ-энергии в опухоли наружными аппликаторами. Такой эффект может быть достигнут квазиоптической фокусировкой или сложением когерентных РЧ-колебаний, синхронно излучаемых несколькими аппликаторами (фазированные антенные решетки - *phased array systems*). Избирательному повышению температуры в опухоли способствует также особенность кровотока в опухоли. Как правило, опухоль имеет слабый кровоток и, соответственно, низкий уровень теплоотвода. При РЧ-нагреве это обстоятельство приводит к более выраженному накоплению тепла в опухоли, то есть происходит его биологическая «фокусировка» [6, 7, 14].

Таким образом, подбирая частоту РЧ-излучения и создавая адекватные конкретной задаче аппликаторы или системы аппликаторов, можно обеспечить, при наличии водяного охлаждения покровных тканей, необходимый уровень нагрева опухоли почти любой локализации. Однако создание оптимальных аппликаторов для каждой отдельной локализации невозможно. Поэтому одной из основных технических проблем является разработка простых и удобных в эксплуатации аппликаторов (или их систем), которые позволяли бы охватывать максимально возможное количество клинических ситуаций [14].

При нагревании опухолей, расположенных на глубине до 6–8 см, особых проблем не возникает. Необходимый режим гипертермии достигается благодаря применению аппликаторов излучательного типа от гипертермических установок, генерирующих СВЧ-излучение в диапазоне 300–915 МГц с принудительным охлаждением кожи.

Более высокая частота СВЧ-излучения (2450 МГц) используется редко из-за низкой проникающей способности и опасности появления стоячих волн на границе раздела тканей кожа – ПЖК – мышцы, что повышает риск термического повреждения здоровых тканей [6, 7, 17]. Тем не менее, по сравнению с емкостными аппликаторами наилучшее распределение температуры при ГТ поверхностных опухолей получено при использовании аппликаторов излучательного типа, особенно многопозиционных [18, 19].

Нагрев более глубокорасположенных опухолей остается одной из важных проблем гипертермической онкологии. Для этих целей в различных клиниках используются длинноволновые РЧ-излучения (УВЧ, ВЧ). В этих случаях используют несколько емкостных или синхронно излучающих аппликаторов. Как показывает практика, при ГТ с помощью емкостных аппликаторов из-за высокого риска развития ожогов в ПЖК не всегда удается достичь терапевтического режима в опухолях. Это связано с тем, что ПЖК представляет собой высокоомный участок последовательной цепи, где выделяется большее количество тепла (в 7–10 раз больше, чем в мышечной ткани). При этом тепло, в силу низкой теплопроводности и плохого кровоснабжения жировой ткани, плохо рассеивается [20]. В таких случаях, одним из широко используемых методов, позво-

ляющих достичь гипертермических уровней температур в опухоли у больных с выраженной ПЖК, является охлаждение кожи до 5–10 °С за 10–20 мин до начала и в течение всего сеанса гипертермии. Brezovich I.A. считает, что при толщине ПЖК до 5 мм при емкостном нагреве температура охлаждающей жидкости должна быть около 5 °С, но при толщине более 1 см даже такое охлаждение не приносит желаемого результата [20].

Moore C.W. et al. [21], Tanaka Y. et al. [22] при толщине ПЖК до 2 см гипертермический режим в опухолях внутренних органов обеспечивали путем охлаждения кожи циркулирующей в аппликаторе водой с температурой 7–10 °С. Однако этого невозможно было достичь при толщине ПЖК свыше 2,5 см. В целом у 4,7 % пациентов развивались термические некрозы ПЖК. Более простым, но несколько неудобным методом нагрева больных с выраженной ПЖК является расположение емкостных аппликаторов с некоторым смещением их относительно друг друга по горизонтали. При таком методе ЭМ-поле проникает в ПЖК под углом 15–20 градусов. Решением этой проблемы явилась разработка конструкции емкостного аппликатора, при которой разнополярные кольцевые или плоские электроды располагались в одной плоскости компланарно [14]. При таком расположении электродов в большей части зоны нагрева вектор электрического поля параллелен границам раздела тканей и, соответственно, тепловыделение в жировой ткани оказывается существенно меньше, чем в мышечной. Компланарные гибкие микрополосковые аппликаторы для 40,68 МГц (КГМА-40) при водяном охлаждении поверхности ткани обеспечивают глубину терапевтического нагрева (ГТН) до 10 см. При использовании двух когерентно работающих аппликаторов КГМА-40, расположенных с двух сторон нагреваемого объема, ГТН может быть значительно увеличена.

В табл. 1 представлена краткая характеристика основных технологий ГТ по обзорным данным Шорт Дж. Г., Тернер П.Ф. [7] и дополненная нами.

Термометрия

Термометрический контроль необходим для получения информации об абсолютном значении температуры в нагреваемом объеме ткани, а также для «визуализации» зоны нагрева, с целью подвода оптимальной мощности РЧ-энергии в мишень и правильного расположения излучателя. На современном этапе развития ГТ в основном используется прямая инвазивная термометрия, которая дает возможность контролировать нагрев в реальном времени. Только в нескольких центрах Европы и США контроль температуры осуществляются дистанционно с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Особые трудности при термометрии возникают в интенсивном РЧ-поле, они обусловлены взаимодействием его с металлическими элементами измерительных систем. Металлические проводники, соединяющие термочувствительные элементы (термодатчики, терморезисторы, полупроводниковые датчики) с из-

Таблица

Методики гипертермии и способы ее создания

Объем ГТ	Способы создания ГТ	Примечания
Локальная	Ультразвук: – наружная – внутрисполостная	Наилучшая фокусировка. Проблемы – отражение на границе тканей, перегрев костей.
	СВЧ-излучение: – наружная – внутрисполостная – внутритканевая	Отражение на границе тканей и ограниченная глубина нагрева: при наружной ГТ для 915 МГц – 2–4 см, 434 МГц – 4–6 см, внутрисполостной – 1–2 и 2–3 см соответственно. При внутритканевой ГТ необходимо вводить иглы-аппликаторы через каждый 1 см.
	Горячий воздух, свет, инфракрасное излучение	Ограниченная глубина нагрева до 1,0 см.
	УВЧ-, ВЧ-излучение (ёмкостная связь – классическая)	Проблемы – ожоги кожи и ПЖК, необходимость нагрева большего объема ткани.
	УВЧ-, ВЧ-излучение (ёмкостная связь – классическая)	Глубина нагрева до 20–22 см. Проблемы – ожоги кожи и ПЖК, невозможность регулировки мощности излучения от каждого электрода в отдельности.
Регионарная	УВЧ-излучение (ёмкостная связь – копланарная)	Меньший нагрев ПЖК. Ограниченная глубина нагрева до 10 см.
	УВЧ, ВЧ, индуктивная связь	Ограниченная глубина нагрева до 8 см.
	Радиочастотная многопозиционная антенная фазированная решетка	Дороговизна аппаратуры и трудоемкость процедуры.
	Перфузия отдельного органа	Хирургическая процедура. Ограниченная глубина нагрева до 5 мм.
	Водяная баня	Применима только для конечностей.
	Орошение полости органа горячим раствором	Ограниченная глубина нагрева до 5 мм и область применения.
	1. Инфракрасное излучение, горячий воздух, свет. 2. Водяная баня 3. «Скафандр» с горячей водой 4. Камера с горячим воздухом + СВЧ-облучение 5. ВЧ-излучение (13,56 МГц) 6. Экстракорпоральный нагрев крови	Медленный подъем температуры из-за кондуктивного нагрева, ограниченный доступ к больному, трудность контроля распределения температуры по всему организму. Неравномерность нагрева всего организма. Хирургическая процедура, возможно повреждение эндотелия сосудов.

мерительными приборами, выступают приемными антеннами электромагнитной энергии, что приводит, с одной стороны, к разогреву термодатчика, с другой – создает трудно подавляемые наводки (помехи) на измерительную аппаратуру. Эти обстоятельства приводят к большим погрешностям и зачастую затрудняют измерение температуры. Помехи можно исключить, если при линейно поляризованном поле излучения ориентировать датчик перпендикулярно вектору электрического поля, но в клинических условиях это не всегда осуществимо.

Надежные показания от термодатчиков можно получить разными способами. Первый способ – замер температуры производить при кратковременном выключении источника высокочастотного поля. В АО НПП «Исток» им. А.И. Шокина разработаны установки серии «Яхта», генераторы которых работают в импульсном режиме, при котором измерение температуры осуществляется автоматически между импульсами. Второй способ – использование диэлектрических световодов с невозмущаемыми в ЭМ-поле датчиками на основе оптоволоконной технологии или с высоким содержанием графита – термозонд Боумана [23].

Использование инвазивных методов контроля температуры сопровождается и некоторыми методическими погрешностями. Во-первых, не всегда удается ввести термодатчик в нужный участок опухоли, во-вторых, в опухоли имеет место широкий разброс температуры, что затрудняет выбор режима нагрева. Температура в опухоли обычно неоднородна даже при отсутствии теплового воздействия, а при РЧГТ неоднородность значительно возрастает и может достигать 3–5 °C и выше. Существенную роль в этом играют различия в кровотоке, электропроводности и теплопрово-

дности тканей в центральных и периферических зонах опухоли. Поэтому при внутритканевой термометрии возможны ошибки, связанные с выборочным измерением температуры. Этот недостаток минимизируется расположением в одном инвазивном термодатчике от 3 до 6 термоизмерительных элементов, что позволяет производить съём температуры с нескольких точек опухоли, то есть получать профиль температуры в нагреваемом объеме.

В последние годы активно разрабатываются методы бесконтактной термометрии с использованием МРТ или УЗ-излучения. На практике эта идея осуществлена фирмой BSD, которая создала гибридный комплекс, состоящий из гипертермической установки BSD-2000 и МРТ-сканера [24]. Исследования на этих гибридных системах пока ведутся только в нескольких клиниках США и Европы. Ультразвуковая термометрия пока не вышла за рамки экспериментальных исследований [25].

Для стандартизации уровня нагрева опухоли условно принят параметр, определяющий дозу тепла при 43 °C – CEM 43 °C T₉₀ (Cumulative Equivalent Minutes at 43 °C 90 % of tumor) – кумулятивное время в минутах, в течение которого температура в 90 % объема опухоли равна или превышает 43 °C. Эквивалентная доза тепла при нагревании опухоли при других температурно-экспозиционных режимах определяется по формуле: CEM 43 °C = tR^(43–T), где CEM 43 °C является кумулятивной дозой, эквивалентной в минутах при 43 °C, t – продолжительность лечения, T – средняя температура в течение нагрева, R – изодозная константа, определенная в эксперименте (R = 0 для T < 39 °C, R = 0,25 для 39–43 °C и R = 0,5 при температуре > 43 °C). Также можно использовать максимальные (T_{макс}), мини-

мальные ($T_{\min}$) и средние ($T_{\text{ср}}$) показатели температуры в опухоли. Пороговой дозой для развития некроза мышц является 240 СЕМ 43 °С. Эта доза тепла достигается при нагревании до 45 °С в течение 60 мин [26]. De Bruijne M. et al. при ретроспективном исследовании показали, что после поправки на размер опухоли, термальная доза СЕМ 43 °С T_{90} не коррелирует с клиническим эффектом [27]. Скорее всего, это связано с широким разбросом температуры в объеме опухоли и, соответственно, с неточным расчетом термодозы из-за недостаточного количества внедренных в опухоль термодатчиков. Таким образом, расчет СЕМ 43 °С T_{90} затруднителен при каждом клиническом случае.

Аппаратура

К настоящему времени разработано свыше двух десятков различных видов аппаратов для ГТ, генерирующих электромагнитное или ультразвуковое излучение. В клинической практике в основном используются установки, генерирующие РЧ-излучение. Наиболее активно разработка ГТ-установок ведётся в России, США, Японии и Италии, в последние годы – в Китае. В зависимости от частоты излучения и типа аппликаторов, одни аппараты предназначены для нагрева поверхностных опухолей, другие – глубокорасположенных, третьи – для внутриполостной или внутритканевой ГТ. Важной составной частью гипертермических установок, определяющей эффективность нагрева опухоли, является аппликатор. У всех гипертермических установок он имеет схожие конструкции и состоит из излучателя или электрода, на рабочей поверхности которых расположен болюс для циркуляции воды. Часть болюса, обращенная к поверхности тела, имеет эластичную мембрану. Циркулирующая в болюсе вода выполняет несколько функций: 1) является элементом согласования волновых сопротивлений между излучателем и биологической тканью, 2) концентрирует РЧ-поле, 3) охлаждает прилегающие к аппликатору кожу или слизистую оболочку, что позволяет переносить температурный максимум в более глубокие слои нагреваемых тканей, 4) уменьшает неровности рельефа нагреваемой зоны.

Для равномерности нагрева неглубоко расположенных опухолей большей площади разработаны многопозиционные наружные аппликаторы.

Установки для локорегионарной ГТ по способу нагрева делятся на 3 типа: излучательные, ёмкостные и индуктивные.

Установки серии «Яхта». В России, в НПО «ИСТОК» разработаны 4 вида гипертермических аппаратов этой серии: Яхта-2 (2450 МГц), Яхта-3 (915 МГц), Яхта-4 (434 МГц) и Яхта-5 (40,68 и 13,56 МГц). В клиниках в основном используются Яхта-3, Яхта-4 и Яхта-5. Установки Яхта-3 и Яхта-4, в отличие от своих зарубежных аналогов, снабжены аппликаторами не только для наружной, но и внутриполостной гипертермии, поэтому имеют более широкий диапазон применения. Методики ЛРТГ для лечения больных с различными

опухолевыми и неопухолевыми заболеваниями на данных установках представлены в монографии и методических рекомендациях [28, 29].

Установка «Яхта-3». В комплекте имеются 5 наружных аппликаторов, которые имеют прямоугольную форму размерами 35×40, 80×70, 130×100, 150×130 и один округлый диаметром 150 мм. В набор внутриполостных аппликаторов входят излучатели 7 видов, различающиеся по диаметру, углу раскрытия (циркулярные, направленные) и по длине зоны нагрева. Внутриполостные аппликаторы с циркулярным нагревом (6 шт.), предназначенные для ГТ рака прямой кишки, имеют диаметры 7, 10 и 15 мм с длиной зоны нагрева 40 или 80 мм для каждого из них. Один внутриполостной аппликатор с направленным излучением диаметром 18 мм и длиной зоны нагрева 40–50 мм предназначен для ГТ предстательной железы через прямую кишку (при раке предстательной железы, простатите, аденоме). Установка обеспечена 3-канальной термометрической системой, в которой предусмотрена автоматическая поддержка установленной оператором температуры. Прямая термометрия в опухоли проводится с помощью игольчатых и катетерных гибких полупроводниковых датчиков.

Установка «Яхта-4». В комплекте имеются 5 гибких наружных аппликаторов размерами 80×200; 150×160; 220×300; 210×200; 210×300 мм. Следует отметить, что гибкость аппликатора позволяет охватывать цилиндрические части тела (конечности). В этом случае возникает эффект квазиоптической фокусировки ЭМ-поля, что дает возможность создавать терапевтический нагрев на глубину до 8 см [13]. В набор внутриполостных аппликаторов (7 шт.) входят излучатели нескольких видов, различающиеся по диаметру, углу раскрытия (циркулярные, направленные) и по длине зоны нагрева. Внутриполостные аппликаторы с циркулярным нагревом (6 шт.) предназначены для ГТ рака прямой кишки и имеют диаметры 7, 10 и 15 мм, с длиной зоны нагрева 80 и 150 мм. Один внутриполостной аппликатор с направленным излучением диаметром 18 мм и длиной зоны нагрева 40–50 мм предназначен для ГТ предстательной железы через прямую кишку (рак предстательной железы, простатит, аденомы). Кроме того, по заказу изготавливается многопозиционный гибкий аппликатор для ГТ рака молочной железы и других опухолей. Установка обеспечена 3-канальной термометрической системой. Прямая термометрия в опухоли проводится с помощью игольчатых и катетерных гибких полупроводниковых датчиков. При этом в одном датчике могут находиться до 6 термоэлементов, что позволяет снимать температуру с 6 точек опухоли. Установка имеет программное обеспечение для теоретического расчета распределения температур в опухоли.

Установка «Яхта-5» является многофункциональным комплексом для локальной, регионарной и общей гипертермии. В мире аналогичных установок нет. Локорегионарный нагрев осуществляется с по-

мощью генератора, работающего на частоте 40,68 МГц, общий – 13,56 МГц. Для ЛРГТ к установке прилагаются по 2 индуктивных (размерами 130×140 и 180×180 мм) и гибких компланарных аппликатора (размерами по 200×300 мм). Термометрия осуществляется игольчатыми и гибкими полупроводниковыми датчиками. Преимуществом этой установки является особенность конструкции индуктивных и компланарных электродов, которая позволяет нагревать опухоли на глубине до 60–150 мм без перегрева ПЖК [13]. Более глубокий нагрев можно проводить с помощью двух компланарных аппликаторов, располагая их синфазно друг против друга.

Установка Alba (434 МГц) выпускается в Италии. В отличие от российского гипертермического аппарата «Яхта-4», имеющего сходные физико-технические характеристики, она предусматривает только наружный нагрев. Прямая термометрия в опухоли проводится с помощью игольчатых и гибких терморезисторных датчиков.

Установки серии BSD разработаны компанией Рутехар (США). Наибольшее распространение получили модели BSD-500 и BSD-2000.

Установка BSD-500 (915 МГц) обеспечивает нагрев с помощью наружных и внутритканевых аппликаторов. Аппликаторы для наружного нагрева имеют прямоугольную форму и представлены 3 размерами: 40×50, 90×120, 180×240 мм. Кроме того, имеется многопозиционный гибкий аппликатор (a flexible multi-antennae applicator) для ГТ поверхностных опухолей. Установка обеспечена 8-канальной термометрической системой, и в ней предусмотрена автоматическая поддержка температуры.

Установка BSD-2000 (70–120 МГц) предназначена для нагрева глубокорасположенных опухолей. Для этого имеется 3 типа устройств в виде круглого или овального кольца. В каждое из них вмонтировано по 8 аппликаторов излучательного типа. Устройства работают по принципу кольцевых фазированных антенн, где выход РЧ-излучения из каждого канала можно регулировать для создания максимальной мощности в опухоли без чрезмерной тепловой нагрузки на кожу. Устройство диаметром 60 см используется для нагревания туловища взрослого человека, 40 см – для лечения детей, 30 см – для конечностей. По мнению разработчиков, особенность конструкции установки BSD-2000 состоит в том, что аппликаторы излучательного типа исключают чрезмерный перегрев ПЖК. Однако, учитывая разнородность по электрическим свойствам тканей, а также соизмеримость длины волны излучения (2,5–4 м) и размеров аппликаторов с размерами тела пациента и нагреваемым объемом, фокусировка температуры в опухоли практически невозможна. Хотя, по данным Van Rhoon G. C. et al. [30], при исследовании на фантоме действительно была получена фокусировка излучения. Но здесь надо учитывать, что использованный фантом, в отличие от тела челове-

ка, был более однородным, что значительно облегчало фокусировку излучения.

Для измерения температуры в опухоли используется изготовленный из графита и, соответственно, невозмущаемый в ЭМ-поле термодатчик Боумана.

Измерение температуры в опухолях внутренних органов при работе на BSD-2000, как и на любых других гипертермических установках, трудно выполнимо. Решением проблемы при ГТ рака мочевого пузыря, прямой кишки и шейки матки для некоторых исследователей являлось введение катетеров с несколькими термодатчиками в просвет органов [31]. Датчики в этих случаях располагались на поверхности слизистых оболочек и опухоли. Наличие горячих точек авторы определяли не только по температуре, но и жалобам пациента на болевые ощущения. Средние уровни температур в прямой кишке и мочевом пузыре составляли 40,5–40,8, во влагалище – 39,8–40,1 °С.

Необходимо отметить, что при таком способе нагрева (излучательном), РЧ-излучение, проходя через кости, может вызвать перегрев надкостницы с последующим развитием остеонекроза. Об этом свидетельствуют результаты исследований Balzer S. et al. [32]. По их данным, из 72 больных с опухолями органов малого таза, подвергшихся регионарной ГТ на BSD-2000 в комбинации с химиотерапией и/или лучевой терапией, у 7 (9,7 %) развился аваскулярный остеонекроз. При этом в 2 случаях его наблюдали у больных, не подвергшихся ЛТ, что свидетельствует о чисто термическом повреждении костей. Подтверждением этой гипотезы служит тот факт, что частота развития остеонекроза, как ни парадоксально, повышалась с уменьшением температурной дозы в опухоли. При $SEM43T_{90} > 10$ мин остеонекроз развился у 1 (3,4 %) из 29, тогда как при $SEM43T_{90} < 10$ мин – у 6 (14,6 %) из 41 пациентов ($p > 0,05$). Такое увеличение частоты остеонекроза с уменьшением дозы тепла в опухоли можно объяснить только неравномерным распределением температуры в нагреваемом регионе, то есть температура в опухоли была меньше, чем в некоторых участках нормальных тканей, в том числе и костях таза. В других исследованиях подобные осложнения не были отмечены [33].

Чтобы преодолеть трудности термометрии, в последние годы данная установка совмещена с МРТ (BSD-2000+МРТ), которая с помощью специальной программы позволяет дистанционно оценивать температуру в нагреваемой области в режиме on line. Однако и здесь не ясно, насколько соответствуют показания МРТ реальной температуре в опухоли. По некоторым данным, погрешность измерения температуры при этом методе в среднем может варьировать от 0,6 до 0,9 °С [34, 35].

Таким образом, гипертермическая установка BSD-2000 предназначена для регионарного нагрева. Эффективный контроль температуры в различных участках нагреваемого объема возможен при работе с гибридной системой BSD-2000+МРТ. Руководство по оптимизации планирования лечения на этой установ-

ке представлено в работах Bruggmoser G. et al. [36] и Kok H. P. et al. [37].

Установка Thermotron RF-8 (8 МГц) разработана в Японии и является первой установкой в мире, работающей по принципу классического ёмкостного нагрева с использованием 6 пар круглых электродов-аппликаторов размерами от 70 до 300 мм. Широкий набор аппликаторов позволяет проводить локальный и регионарный нагрев. Лечение больного производится на специальном процедурном столе в горизонтальном положении. Смещение пары аппликаторов по отношению к больному происходит синхронно в одной плоскости. Термометрия проводится гибкими или игольчатыми 1–4-элементными терморезисторными датчиками. Необходимо отметить, что болюс полностью закрывает нагреваемую площадь тела, а температуру циркулирующей жидкости в нем можно снижать до 5 °С, что позволяет эффективно охлаждать кожу больного. Тем не менее, обширные термометрические исследования на этой установке, проведенные в первые годы его клинического применения в Японии (1980–90), показали, что имеется высокий риск развития ожога кожи и ПЖК. По этой причине достижение гипертермического режима в опухолях внутренних органов на этой установке не всегда возможно. Исследования Narima et al. [38] показали, что при ГТ больных раком шейки матки максимальная температура в опухоли колебалась в пределах 40,1–44,6 °С, средняя – 39,6–42,5 °С с СЕМ 43°T₉₀ равной 3,8 мин.

Результаты рандомизированного мультицентрового исследования по термолучевой терапии рака шейки матки показали, что из четырех онкологических центров только в двух из них в опухоли была достигнута температура выше 41 °С, в одном – 40,2–40,6 °С, и еще в одном она варьировала в диапазоне 37,5–39 °С [39]. Следует отметить, что в данное исследование были включены больные с толщиной ПЖК до 3 см. В другом исследовании у 17 больных раком прямой кишки температура в опухоли достигала от 38 до 44 °С (в среднем 41 °С). Низкие уровни ее наблюдали у больных с выраженной ПЖК [40]. Более оптимистичные данные на этой установке были получены при ГТ опухолей печени, поджелудочной железы и легких. При лечении 173 больных с первичными и вторичными злокачественными новообразованиями печени минимальная температура в опухоли в среднем составила 40,1 ± 0,2 °С, максимальная – 41,2 ± 0,2 °С, в паренхиме – 39,6 ± 0,2 °С [41]. При ГТ метастазов колоректального рака в печень и толщине ПЖК не более 2 см уровень температуры в опухолях колебался от 40 до 44 °С [42]. В последних двух исследованиях достижение гипертермического режима зависело от объема опухоли и толщины ПЖК. По данным Ohguri et al., при ГТ рака легких температура в пищеводе варьировала от 39 до 48 °С и зависела от размера грудной клетки и толщины ПЖК [43]. Yoshida et al. при ГТ 24 больных раком поджелудочной железы у 15 (62,5 %) достигли температуры в опухоли выше 42 °С [44].

Установка «Супертерм ЭП-40» является комплексом для локальной и регионарной УВЧ-гипертермии опухолей, разработанный в России Государственным космическим научно-производственным центром им. М.В. Хруничева. Нагрев осуществляется также классическим ёмкостным способом с использованием 10 пар электродов разной формы (круглые, прямоугольные). Термометрия проводится с помощью оптоволоконных термодатчиков. По физико-техническим и функциональным характеристикам установка не уступает, а по некоторым показателям даже превосходит аппарат Thermotron RF-8. В частности, в отличие от установки Thermotron RF-8, смещение аппликаторов по отношению к больному происходит в 2 плоскостях, и в каждой плоскости они могут дополнительно смещаться независимо друг от друга в 2 направлениях. Также к комплексу придается специальное кресло для нагрева опухолей головы и шеи в сидячем положении больного.

Несмотря на совершенство аппликаторов и системы охлаждения, при которой кожу можно охлаждать до 10 °С, гипертермия на этой установке, как и при любом ёмкостном методе нагрева, сопровождается перегревом ПЖК, что не всегда позволяет достичь режима гипертермии в глубокорасположенных новообразованиях, особенно в опухолях органов малого таза. При лечении нами 11 больных раком прямой кишки и шейки матки с ПЖК менее 2 см максимальная температура в просвете и внутри опухоли только у 2 (18 %) пациентов была выше 41 °С, у 3 (27 %) колебалась в пределах 40–40,7 °С, у 6 (54 %) – 39,4–39,9 °С. Таким образом, у более чем половины больных не был достигнут даже минимальный гипертермический режим. Ограничивающим фактором для достижения необходимой температуры в опухоли являлось чувство жжения на коже промежности и под электродами-аппликаторами, в связи с чем на этой установке дальнейшие исследования по гипертермии на опухолях данной локализации сочли нецелесообразным. Вместе с тем, при ГТ области головы, шеи и конечностей достигается хорошее согласование излучения с биообъектом и необходимый температурный режим в опухоли. Методики локальной и локорегионарной гипертермии опухолей различных локализаций на данной установке представлены в монографии и методических рекомендациях [28, 29].

Несмотря на то, что комплекс в клинических испытаниях показал высокие технические характеристики, надежность работы и был одобрен Минздравом РФ (регистрационное удостоверение № 98/72 РФ от 25.11.1998), он не был запущен в серийное производство.

Установка Synchrotherm (13,56 МГц), разработана в Италии. Нагрев осуществляется классическим ёмкостным методом. К установке прилагаются 3 пары круглых аппликаторов диаметрами 120, 230 и 260 мм. Выходная мощность составляет 1200 Вт. Важным недостатком является крепление аппликаторов с помощью бандажа. Это обстоятельство создает трудности при введении термодатчика в опухоль и мешает визу-

альному контролю уровня заполнения аппликатора охлаждающей жидкостью. В доступной литературе мы не нашли данных о результатах термометрии у онкологических больных на этой установке.

Установка *Alba 4D*. В 2014 г. на выставке в Турине была представлена 4-электродная гипертермическая установка, работающая на частоте 70 МГц по принципу фазированной излучательной антенной решетки подобно BSD-2000. Сведения о результатах применения данной установки в клинике еще отсутствуют.

Установка *Celsius TCS* (13,56 МГц) – разработана в ФРГ и предназначена для классического ёмкостного способа нагрева. В отличие от установок Thermotron RF-8 и «Супертерм ЭП-40» является маломаневренной и значительно уступает им по функциональным характеристикам. Из пары электродов только один (верхний) может перемещаться с помощью кронштейна в горизонтальном и вертикальном направлениях. Нижний электрод перемещается только горизонтально и дискретно, путем перестановки вручную из одного разъема в другой. Таким образом, электроды по отношению к телу пациента могут располагаться только вертикально, горизонтальное расположение не предусмотрено. Главный недостаток установки состоит в конструкции аппликаторов, а именно, в большой толщине и жесткости мембраны болюса, что значительно снижает теплообмен между кожей и циркулирующей в нем водой. Кроме того, во время лечения под давлением циркулирующей воды мембрана приобретает выпуклую форму, что уменьшает площадь соприкосновения аппликатора с телом пациента. В этом случае ЭМ-энергия концентрируется в основном под участком соприкосновения аппликатора с телом пациента, что обуславливает высокий градиент температуры по глубине нагреваемого объема. Разработчики Celsius TCS рекомендуют пользоваться табличными данными, где рекомендованы параметры мощности излучения и длительность процедуры ГТ для опухолей различных локализаций. В основу были взяты экспериментальные данные Noh J.M. et al. [45], проведенные на свиньях. По их данным, при нагревании печени наркотизированных свиней температура в печени повысилась в среднем на 2,7 °С от исходного к концу 60-минутного воздействия. В доступной литературе мы не нашли каких-либо клинических исследований, обосновывающих табличные данные.

По нашему опыту работы на подобных установках («Супертерм ЭП-40», Thermotron RF-8), приведенные в таблицах мощности излучения недостаточны для ГТ опухолей внутренних органов. Данные термометрии, полученные при ГТ больных раком прямой кишки в одном из онкологических диспансеров России на установке Celsius TCS, были схожи с результатами исследований Noh J.M. et al. [45]. При воздействии на область малого таза РЧ-излучением при мощности от 60–80 до 130–150 Вт, согласно рекомендованным табличным данным, температура в просвете опухоли достигла 38–38,5°С только на 40–50 мин после начала ГТ.

Дальнейшее повышение мощности излучения было невозможно из-за появления у больного ощущения жжения на коже. Таким образом, используемые температурно-экспозиционные режимы ГТ на этой установке явно недостаточны для достижения радио- или химиомодифицирующего эффекта ГТ. Для получения при этих режимах такого же термосенсибилизирующего эффекта, как и при 41°С с продолжительностью 60 мин, требуется увеличение времени воздействия до 4 и более часов, что практически не осуществимо из-за необходимости нахождения больного без движения на такое продолжительное время.

Другой недостаток установки обусловлен программным обеспечением процедуры ГТ. Она предусматривает установку режима воздействия РЧ-полем на опухоль в начале лечения (согласно табличным данным), но возможность регулирования мощности в процессе сеанса отсутствует. Поэтому в случае появления у больного дискомфорта или других нежелательных явлений изменить уровень подаваемой мощности РЧ-излучения в процессе сеанса уже невозможно. В этом случае требуется переустановка режима лечения заново.

Установка *Oncotherm* (13,56 МГц) разработана в Венгрии. Первоначально разработчики аппарата на российском рынке продвигали его как гипертермический аппарат, позволяющий нагревать глубоко расположенные опухоли. Однако в дискуссиях различного уровня удалось убедить разработчиков, что установка не может создавать режим гипертермии в глубоко расположенных опухолях. Это связано с тем, что один электрод является активным (размерами 100–200 мм) и может перемещаться горизонтально, другим электродом (пассивным) является сама кушетка. Таким образом, нагрев глубоко расположенной опухоли локально осуществить невозможно, так как РЧ-излучение рассеивается по всему телу больного. В этом случае резко возрастает градиент температуры по глубине нагреваемого объема, что создает высокий риск развития ожогов кожи и ПЖК. В настоящее время разработчики рекламируют аппарат, как оказывающий действие на опухоль модулированными ЭМ-полями, со слабым компонентом теплового воздействия. По нашему мнению, при ГТ опухолей внутренних органов на этой установки температурный компонент может отсутствовать полностью или не превышать 38 °С, что не является гипертермическим режимом.

Разработка гипертермических установок в Китае. В разработке гипертермических установок в этой стране ведется несколькими компаниями: HY SenMo, ZD, ZRL, NRL, MoreStep и др. На собственном рынке и на рынке Юго-Восточной Азии ими были представлены аппараты нескольких видов для СВЧ-гипертермии и установки, основанные на ёмкостной системе нагрева. В последние годы появилась 4-электродная гипертермическая установка. Однако принцип работы этой установки пока нам не известен.

Заключение

Ввиду сложности проведения процедуры, гипертермическое лечение остается привилегией крупных онкологических клиник [1–6, 29, 33, 38, 46–53]. Основным принципом ГТ является создание относительно равномерного распределения температуры в опухоли без перегрева нормальных тканей. Различные гипертермические установки и способы ГТ имеют определенные недостатки.

1. Разнообразные способы ГТ не всегда обеспечивают равномерное распределение температуры в нагреваемом объеме или достижение гипертермического режима в глубокорасположенных опухолях, вследствие чего высока вероятность получения ожогов или усиления лучевых реакций и осложнений.

2. Общей проблемой для всех гипертермических установок является несовершенство контроля температуры. Ее решением в ближайшей перспективе является применение для этих целей магнитно-резонансной томографии или ультразвука.

3. Для проведения ГТ глубокорасположенных опухолей в основном используется ёмкостный способ подведения тепла или излучательные аппликаторы с фазированными антенными решетками. Ограничивающим фактором ёмкостной ГТ является перегрев подкожно-жировой клетчатки.

4. ГТ поверхностных опухолей лучше проводить с помощью излучательных аппликаторов. При таком методе нагрева, по сравнению с ёмкостным, тепловому воздействию подвергается меньший объем тела больного и происходит более равномерное распределение температуры по площади. Вместе с тем, при излучательном методе ГТ на частотах 915–2450 МГц высока вероятность перегрева поверхностных нормальных тканей.

Таким образом, вследствие многообразия способов подачи и особенностей распределения ЭМ-энергии в нагреваемом объеме в зависимости от частоты излучения, существуют только общие подходы к проведению ГТ, стандарты лечения отсутствуют. Такие стандарты должны разрабатываться для конкретного аппарата на основании экспериментальных и клинических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курпешев О.К., Павлов В.В., Шкляев С.С. Эффективность локальной гипертермии при химиотерапевтическом и/или лучевом лечении лимфомы Ходжкина // Сибирский онкол. ж. 2013. Т. 58. № 4. С. 28–30.
2. Курпешев О.К., Андреев В.Г., Панкратов В.А. и соавт. Сравнительные результаты консервативной химиолучевой и термохимиолучевой терапии местнораспространенного рака гортани // Вопросы онкологии. 2014. Т. 60. № 5. С. 602–606.
3. Maluta S. J., Omano M., Dall'oglio S. et al. Regional hyperthermia added to intensified preoperative chemo-radiation in locally advanced adenocarcinoma of middle and lower rectum // Int. J. of Hyperthermia. 2010. Vol. 26. № 2. P. 108–117.
4. Van der Zee J., De Bruijne M., Mens J.W.M. et al. Reirradiation combined with hyperthermia in breast cancer recurrences: Overview of experience in Erasmus MC // Int. J. Hyperthermia. 2010. Vol. 26. № 7. P. 638–648.

5. Canters R.A.M., Paulides M.M., Franckena M.F. et al. Implementation of treatment planning in the routine clinical procedure of regional hyperthermia treatment of cervical cancer: An overview and the Rotterdam experience // Int. J. Hyperthermia. 2012. Vol. 28. № 6. P. 570–581. DOI:10.3109/02656736.2012.675630.
6. Pang C.L.K. Hyperthermia in Oncology. – Guangzhou University of Chinese medicine. CRC Press. Tylor & Francis Group. 2016. 353 p.
7. Шорт Дж.Г., Тернер П.Ф. Применение физической гипертермии для лечения злокачественных новообразований. – ТИИЭР. 1980. Т. 68. С. 157–169.
8. El-Kareh A.W., Secomb T.W. A theoretical model for intraperitoneal delivery of cisplatin and the effect of hyperthermia on drug penetration distance // Neoplasia. 2004. № 6. P. 117–127.
9. González-Moreno S., González-Bayón L.A., Ortega-Pérez G. Hyperthermic intraperitoneal chemotherapy: Rationale and technique // World J. Gastroint. Oncol. 2010. Vol. 2. № 2. P. 68–75.
10. Mi D.H., Li Z., Yang K.H. et al. Surgery combined with intraoperative hyperthermic intraperitoneal chemotherapy (IHIC) for gastric cancer: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials // Int. J. Hyperthermia. 2013. Vol. 29. № 2. P. 156–167.
11. Stehlin J.S., Giovannella B.C., Gutierrez A.E. et al. 15 year's experience with hyperthermic perfusion for treatment of soft tissue sarcoma and malignant melanoma of the extremities // Hypert. Radat. Ther. : Chemother. Treat. Cancer. 18th Annual Cancer Symposium. – Basel: 1984. P. 177–182.
12. Klicks R.J., Vrouenraets B.C., Nieweg O.E., Kroon B.B.R. Vascular complications of isolated limb perfusion // Eur. J. Surg. Oncol. 1998. Vol. 24. P. 281–291.
13. Klausner J.M., Lev-Chelouche D., Meller I. et al. Isolated limb perfusion in the treatment of advanced soft-tissue sarcomas // In: Musculoskeletal Cancer Surgery: Treatment of Sarcomas and Allied Diseases. Ed. Malawar M.M., Sugarbaker P.H. – New-York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. Kluwer Academic Publishers. 2004. P. 75–84.
14. Гельвич Э.А., Мазохин В.Н. Технические аспекты электромагнитной гипертермии в медицине // Медицина и биотехнология. 1998. № 1. С. 37–47.
15. Штемлер В.М., Колесников С.В. Особенности взаимодействия электромагнитных полей с биообъектами // Физиология человека и животных. Т. 22. – М.: Медицина. 1978. С. 9–67.
16. Corry P.M., Barlogie B., Tilchen E.J., Armour E.P. Ultrasound induced hyperthermia for human superficial tumors // Int. J. Radiat. Oncol., Biol. and Phys. 1982. Vol. 8. № 9. P. 1225–1229.
17. Rossmann C., Haemmerich D. Review of temperature dependence of thermal properties, dielectric properties, and perfusion of biological tissues at hyperthermic and ablation temperatures // Crit Rev. Biomed. Eng. 2014. Vol. 42. № 6. P. 467–492.
18. Kok H. P., Crezee J. A comparison of the heating characteristics of capacitive and radiative superficial hyperthermia // Int. J. Hyperthermia. 2017. Vol. 33. № 4. P. 378–386. DOI: 10.1080/02656736.2016.1268726.
19. Trefná H. D., Crezee H., Schmidt M. et al. Quality assurance guidelines for superficial hyperthermia clinical trials: I. Clinical requirements. Int. J. of Hyperthermia. 2017. Vol. 33. № 4. P. 471–482. DOI: 10.1080/02656736.2016. 1277791.
20. Brezovich I. A. Heating of subcutaneous fat in localized current field hyperthermia with external electrodes // Med. Phys. 1979. Vol. 6. № 4. P. 352–361.
21. Moon C.W., Yum H.Y. Results of hyperthermia in combination of radiation and/or chemotherapy for locally advanced gastric cancer // Proc. Int. Congress on Hyperthermic Oncol., 7th. – Roma: 1996. Vol. 2. P. 40–42.

22. Tanaka Y., Kawamori J., Shimada T. et al. Clinical experience with RF-capacitive heating in the treatment of deep seated tumors: analysis on relationship of the treatment parameters and local responses // *Abstr. Int. Congress on Hyperthermic Oncol.*, 7th. Vol. 2. – Roma: 1996. P. 44–46.
23. Saxena I.F., Hui K. Polymer coated fiber Bragg grating thermometry for microwave hyperthermia // *Med. Phys.* 2010. Vol. 37. № 9. P. 4615–4619.
24. Kuroda K., Morita S., Lam M.K. et al. Feasibility of noninvasive magnetic resonance temperature imaging of fat and water based on methylene proton spin-lattice relaxation time and water proton resonance frequency // *Thermal Med.* 2012. Vol. 28. № 4. P. 87–96.
25. van Dongen K.W.A., Verweij M.D. A feasibility study for non-invasive thermometry using non-linear ultrasound // *Int. J. Hyperthermia.* 2011. Vol. 27. № 6. P. 612–624.
26. Sapareto S.A., Dewey W.C. Thermal dose determination in cancer therapy // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 1984. Vol. 10. P. 787–800.
27. De Bruijne M., van der Holt B., van Rhoon G.C., van der Zee J. Evaluation of CEM 43°C T₉₀ thermal dose in superficial hyperthermia // *Strahlentherapie und Onkologie.* 2010. Vol. 186. № 8. P. 436–443.
28. Курпешев О.К., Пасов А.К., Курпешева А.К. Локальная гипертермия при лечении поздних лучевых повреждений. Методические рекомендации. ФС № 2016/266 от 12.09.2011. – Обнинск. 2012. 17 с.
29. Курпешев О.К., Цыб А.Ф., Мардынский Ю.С. и соавт. Локальная гипертермия в лучевой терапии злокачественных опухолей (экспериментально-клиническое исследование). – Обнинск. 2007. 219 с.
30. Van Rhoon G.C., Van Der Heuvel D.J., Ameziane P. et al. Characterization of the SAR-distribution of the Sigma-60 applicator for regional hyperthermia using a Schottky diode sheet // *Int. J. of Hyperthermia.* 2003. Vol. 19. № 6. P. 642–654. DOI:10.1080/0265673031000140813
31. Fatehi D., Van Der Zee J., Wielheesen D. H. M. et al. Intraluminal thermometry: Is tissue type assignment a necessity for thermal analysis? // *Int. J. Hyperthermia.* 2006. Vol. 22. № 6. P. 463–473.
32. Balzer S., Schneider D.T., Bernbeck M.B. et al. Avascular osteonecrosis after hyperthermia in children and adolescents with pelvic malignancies: A retrospective analysis of potential risk factors // *Int. J. of Hyperthermia.* 2006. Vol. 22. № 6. P. 451–461.
33. Van der Zee J., Gonzales D., van Rhoon G.O. et al. Comparison of radiotherapy plus hyperthermia in locally advanced pelvic tumors: a prospective, randomised, multicentre trial // *Lancet.* 2000. Vol. 355. P. 1119–1125.
34. Wust P., Wlodarczyk W., Ganter H. et al. MR monitoring for deep heating of pelvic tumors present status and outlook. // 22nd An. Meeting of the Europ. Soc. for Hyperthermic Oncology. Abstracts. – Graz, Austria. 2005. P. 1–2.
35. Bing C., Staruch R.M., Tillander M. et al. Drift correction for accurate PRF-shift MR thermometry during mild hyperthermia treatments with MR-HIFU // *Int. J. Hyperthermia.* 2016. Vol. 32. № 6. P. 673–687.
36. Bruggmoser G., Bauchowitz S., Canters R. et al. Guideline for the clinical application, documentation and analysis of clinical studies for regional deep hyperthermia // *Strahlenther. Onkol.* 2012. Suppl. 2. Vol. 188. P. 198–211. DOI 10.1007/s00066-012-0176-2.
37. Kok H. P., Kotte A.N.T. J., Crezee J. Planning, optimisation and evaluation of hyperthermia treatments // *Int. J. Hyperthermia.* 2017 (in press). Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/02656736.2017.1295323>.
38. Harima Y., Ohguri T., Imada H. et al. A multicentre randomised clinical trial of chemoradiotherapy plus hyperthermia versus chemoradiotherapy alone in patients with locally advanced cervical cancer // *Int. J. of Hyperthermia.* 2016. Vol. 32. № 7. P. 801–808.
39. Vasanthan A., Mitsumori M., Park J.H. et al. Regional hyperthermia combined with radiotherapy for uterine cervical cancers: a multi-institutional prospective randomized trial of the international atomic energy agency // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2005. Vol. 61. № 1. P. 145–53.
40. Konishi F., Furuta K., Kanazawa K. et al. The effect of hyperthermia in the preoperative combined treatment of radiation, hyperthermia and chemotherapy for rectal carcinoma // *Jpn. J. Gastroenterol. Surg.* 1994. № 27. P. 789–796.
41. Nagata Y., Okuno Y., Hiraoka M. et al. Radiofrequency hyperthermia for malignant liver tumors // *Proc. 7th Int. Congress on Hyperthermic Oncology.* – Rome. 1996. Vol. 2. P. 28–30.
42. Курпешев О.К., Флоровская Н.Ю. Результаты паллиативной термолучевой терапии метастазов колоректального рака в печень // *Мед. радиол. и радиаци. безопасность.* 2014. Т. 59. № 5. С. 32–36.
43. Ohguri T., Imada H., Yahara K. et al. Radiotherapy with 8-MHz radiofrequency-capacitive regional hyperthermia for stage III non-small-cell lung cancer: the radiofrequency-output power correlates with the intraesophageal temperature and clinical outcomes // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009. Vol. 73. № 1. P. 128–135.
44. Yoshida M., Shioura H., Tomi M. et al. Multimodal combination therapy including hyperthermia for inoperable pancreatic cancer // *Proc. 7th Internat. Congress on Hyperthermic Oncology.* Rome. – 1996. Vol. 2. P. 38–39.
45. Noh J.M., Kim H.Y., Park H.C. et al. *In vivo* verification of regional hyperthermia in the liver // *Radiat. Oncol. J.* 2014. Vol. 32. № 4. P. 256–261.
46. Зубарев А.Л., Курильчик А.А., Курпешев О.К. и соавт. Локальная гипертермия в комбинированном лечении метастазов распространенных сарком мягких тканей // *Сибирский онкол. ж.* 2015. № 3. С. 55–60.
47. Панкратов В.А., Андреев В.Г., Курпешев О.К. и соавт. Применение термохимиолучевого лечения у больных с метастазированным раком гортани и гортаноглотки // *Российский онкол. ж.* 2006. № 4. С. 20–23.
48. Бердов Б.А., Ерыгин Д.В., Невольских А.А. и соавт. Междисциплинарный подход в лечении рака прямой кишки // *Поволжский онкол. вестник.* 2015. № 4. С. 21–28.
49. Курпешев О.К., Рагулин Ю.А., Мозеров С.А. и соавт. Возможности локальной гипертермии при лечении больных отечной формой рака молочной железы // *Вопросы онкологии.* 2016. Т. 62. № 5. С. 680–687.
50. Datta N. R., Grobholz R., Puric E. et al. Enhanced tumour regression in a patient of liposarcoma treated with radiotherapy and hyperthermia: Hint for dynamic immunomodulation by hyperthermia // *Int. J. Hyperthermia.* 2015. Vol. 31. № 5. P. 574–577. doi: 10.3109/02656736.2015.1033482.
51. Wust P. *Thermotherapy in Oncology.* 1st ed. – Bremen: UNIMED. 2016 (UNI-Med Science). 95 pp.
52. Kok H.P., Crezee J., Franken N.A. et al. Quantifying the combined effect of radiation therapy and hyperthermia in terms of equivalent dose distributions // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2014. Vol. 88. P. 739–745.
53. Van der Zee J., Vujaskovic Z., Kondo M., Sugahara T. Part I. Clinical Hyperthermia. The Kadota Fund International Forum 2004 – Clinical group consensus // *Int. J. Hyperthermia.* 2008. Vol. 24. № 2. P. 111–122.

DOI 10.12737/article_59f30321207ef4.88932385

Locoregional Hyperthermia of Malignant Tumors: Methods, Thermometry, Machines**O.K. Kurpeshev¹, J. van der Zee²**

1. A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russia. E-mail: kurpeshev-ok@yandex.ru

2. Erasmus Medical Centre, Cancer Institute, Rotterdam, the Netherlands

O.K. Kurpeshev – Dr. Sc. Med., Head of Local and Whole Body Hyperthermia Department, Member of European Society for Hyperthermic Oncology (ESHO);

J. van der Zee – Ph.D., MD, Member of European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO), European Society for Hyperthermic Oncology (ESHO)

Abstract

The review presents an analytical review of the basic techniques of radiofrequency HT, thermometry, characteristics of some hyperthermic apparatus for locoregional HT (LRHT). All methods of LRHT aim to create a relatively uniform temperature distribution in the tumor in the range of 41–46 °C without overheating the normal tissues. However, this is not always achievable, and especially difficult for deep-seated tumors. This is due to certain limitations or disadvantages of the available hyperthermic systems. Application of LRHT is a complex procedure and therefore hyperthermia treatment remains a privilege for the major cancer clinics. There are only general guidelines for the application of LRHT, standards of treatment are difficult to define due to the inhomogeneous distribution of the electromagnetic (EM) power in organs and tissues (tumors) at different frequencies. Standards of treatment should be developed for each specific device on the basis of experimental and clinical studies. A common problem for all hyperthermia systems is the limited possibility to temperature monitoring. A possible solution to this problem is to use magnetic resonance imaging (MRI) or ultrasound (US) for non-invasive thermometry. The application of LRHT to deep-seated tumors is mainly done with capacitive systems, or radiative systems with phased array antennas. The limiting factor in capacitive HT is overheating of the subcutaneous fat (SF). The application of LRHT to superficial tumors is best done with radiative applicators, because this method has the optimal temperature distribution. The heating pattern of radiative systems in depth depends of the frequency of the used electromagnetic radiation. The superficial temperature can be influenced by a perfused water bolus.

Key words: hyperthermia, electromagnetic fields, radio frequency radiation, ultrasonic radiation, laser radiation, thermometry, hyperthermic devices

REFERENCES

1. Kurpeshev O.K., Pavlov V.V., Shklyayev S.S. Effektivnost' lokal'noy gipertermii pri khimioterapevticheskom i/ili lucheovom lechenii limfomy Khodzhkina // *Sibirskiy onkologicheskiy zh.* 2013. Vol. 58. № 4. P. 28–30.
2. Kurpeshev O.K., Andreyev V.G., Pankratov V.A. et al. Sravnitel'nyye rezul'taty konservativnoy khimioluchevoy i termokhimioluchevoy terapii mestnorasprostrannogo raka gortani // *Voprosy onkologii.* 2014. Vol. 60. № 5. P. 602–606.
3. Maluta S. J., Omano M., Dall'oglio S. et al. Regional hyperthermia added to intensified preoperative chemo-radiation in locally advanced adenocarcinoma of middle and lower rectum // *Int. J. of Hyperthermia.* 2010. Vol. 26. № 2. P. 108–117.
4. Van der Zee J., De Bruijne M., Mens J.W.M. et al. Reirradiation combined with hyperthermia in breast cancer recurrences: Overview of experience in Erasmus MC // *Int. J. Hyperthermia.* 2010. Vol. 26. № 7. P. 638–648.
5. Canters R.A.M., Paulides M.M., Franckena M.F. et al. Implementation of treatment planning in the routine clinical procedure of regional hyperthermia treatment of cervical cancer: An overview and the Rotterdam experience // *Int. J. Hyperthermia.* 2012. Vol. 28. № 6. P. 570–581. DOI:10.3109/02656736.2012.675630.
6. Pang C.L.K. Hyperthermia in Oncology. – Guangzhou University of Chinese medicine. CRC Press. Tylor & Francis Group. 2016. 353 pp.
7. Short Dzh. G., Turner P.F. Primeneniye fizicheskoy gipertermii dlya lecheniya zlokachestvennykh novoobrazovaniy. – TIIEP. 1980. Vol. 68. P. 157–169.
8. El-Kareh A.W., Secomb T.W. A theoretical model for intraperitoneal delivery of cisplatin and the effect of hyperthermia on drug penetration distance // *Neoplasia.* 2004. № 6. P. 117–127.
9. González-Moreno S., González-Bayón L. A., Ortega-Pérez G. Hyperthermic intraperitoneal chemotherapy: Rationale and technique // *World J. Gastroint. Oncol.* 2010. Vol. 2. № 2. P. 68–75.
10. Mi D.H., Li Z., Yang K.H. et al. Surgery combined with intraoperative hyperthermic intraperitoneal chemotherapy (IHIC) for gastric cancer: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials // *Int. J. Hyperthermia.* 2013. Vol. 29. № 2. P. 156–167.
11. Stehlin J.S., Giovanella B.C., Gutierrez A.E. et al. 15 year's experience with hyperthermic perfusion for treatment of soft tissue sarcoma and malignant melanoma of the extremities // *Hypert. Radat. Ther. : Chemother. Treat. Cancer.* 18th Annual Cancer Symposium. – Basel: 1984. P. 177–182.
12. Klinks R.J., Vrouwenraets B.C., Nieweg O.E., Kroon B.B.R. Vascular complications of isolated limb perfusion // *Eur. J. Surg. Oncol.* 1998. Vol. 24. P. 281–291.
13. Klausner J.M., Lev-Chelouche D., Meller I. et al. Isolated limb perfusion in the treatment of advanced soft-tissue sarcomas // In: *Musculoskeletal Cancer Surgery: Treatment of Sarcomas and Allied Diseases.* Ed. Malawar M.M., Sugarbaker P.H. – New-York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. Kluwer Academic Publishers. 2004. P. 75–84.
14. Gel'vich E.A., Mazokhin V.N. Tekhnicheskiye aspekty elektromagnitnoy gipertermii v meditsine // *Meditsina i biotekhnologiya.* 1998. № 1. P. 37–47.
15. Shtemler V.M., Kolesnikov S.V. Osobennosti vzaimodeystviya elektromagnitnykh poley s bioob'yektami // *Fiziologiya cheloveka i zhivotnykh.* Vol. 22. –M.: Meditsina. 1978. P. 9–67.
16. Corry P.M., Barlogie B., Tilchen E.J., Armour E.P. Ultrasound induced hyperthermia for of human superficial tumors // *Int. J. Radiat. Oncol., Biol. Phys.* 1982. Vol. 8. № 9. P. 1225–1229.
17. Rossmann C., Haemmerich D. Review of temperature dependence of thermal properties, dielectric properties, and perfusion of biological tissues at hyperthermic and ablation temperatures // *Crit Rev. Biomed. Eng.* 2014. Vol. 42. № 6. P. 467–492.
18. Kok H. P., Crezee J. A comparison of the heating characteristics of capacitive and radiative superficial hyperthermia // *Int. J. Hyperthermia.* 2017. Vol. 33. № 4. P. 378–386. DOI: 10.1080/02656736.2016.1268726.
19. Trefná H. D., Crezee H., Schmidt M. et al. Quality assurance guidelines for superficial hyperthermia clinical trials: I. Clinical requirements. *Int. J. of Hyperthermia.* 2017. Vol. 33. № 4. P. 471–482. DOI: 10.1080/02656736.2016.1277791.
20. Brezovich I. A. Heating of subcutaneous fat in localized current field hyperthermia with external electrodes // *Med. Phys.* 1979. Vol. 6. № 4. P. 352.

21. Moon C.W., Yum H.Y. Results of hyperthermia in combination of radiation and/or chemotherapy for locally advanced gastric cancer // *Proc. Int. Congress on Hyperthermic Oncol.*, 7th. – Roma: 1996. Vol. 2. P. 40–42.
22. Tanaka Y., Kawamori J., Shimada T. et al. Clinical experience with RF-capacitive heating in the treatment of deep seated tumors: analysis on relationship of the treatment parameters and local responses // *Abstr. Int. Congress on Hyperthermic Oncol.*, 7th. Vol. 2. – Roma: 1996. P. 44–46.
23. Saxena I.F., Hui K. Polymer coated fiber Bragg grating thermometry for microwave Hyperthermia // *Med. Phys.* 2010. Vol. 37. № 9. P. 4615–4619.
24. Kuroda K., Morita S., Lam M. K. et al. Feasibility of noninvasive magnetic resonance temperature imaging of fat and water based on methylene proton spin-lattice relaxation time and water proton resonance frequency // *Thermal Med.* 2012. Vol. 28. № 4. P. 87–96.
25. van Dongen K. W. A., Verweij M.D. A feasibility study for non-invasive thermometry using non-linear ultrasound // *Int. J. Hyperthermia.* 2011. Vol. 27. № 6. P. 612–624.
26. Sapareto S.A., Dewey W.C. Thermal dose determination in cancer therapy // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 1984. Vol. 10. P. 787–800.
27. De Bruijne M., van der Holt B., van Rhooen G. C., van der Zee J. Evaluation of CEM 43 °C T₉₀ thermal dose in superficial hyperthermia // *Strahlentherapie und Onkologie.* 2010. Vol. 186. № 8. P. 436–443.
28. Kurpeshev O.K., Pasov A.K., Kurpesheva A.K. Lokal'naya gipertermiya pri lechenii pozdnykh luchevykh povrezhdeniy. Metodicheskiye rekomendatsii. FS № 2016/266 ot 12.09.2011. – Obninsk. 2012. 17 pp.
29. Kurpeshev O.K., Tsyb A.F., Mardynskiy Y.U.S. et al. Lokal'naya gipertermiya v luchevoy terapii zlokachestvennykh opukholey (eksperimental'no-klinicheskoye issledovaniye). – Obninsk. 2007. 219 pp.
30. Van Rhooen G.C., Van Der Heuvel D.J., Ameziane P. et al. Characterization of the SAR-distribution of the Sigma-60 applicator for regional hyperthermia using a Schottky diode sheet // *Int. J. of Hyperthermia.* 2003. Vol. 19. № 6. P. 642–654. DOI:10.1080/0265673031000140813
31. Fatehi D., Van Der Zee J., Wielheesen D. H. M. et al. Intraluminal thermometry: Is tissue type assignment a necessity for thermal analysis? // *Int. J. Hyperthermia.* 2006. Vol. 22. № 6. P. 463–473.
32. Balzer S., Schneider D.T., Bernbeck M.B. et al. Avascular osteonecrosis after hyperthermia in children and adolescents with pelvic malignancies: A retrospective analysis of potential risk factors // *Int. J. of Hyperthermia.* 2006. Vol. 22. № 6. P. 451–461.
33. Van der Zee J., Gonzales D., van Rhooen G.O. et al. Comparison of radiotherapy plus hyperthermia in locally advanced pelvic tumors: a prospective, randomised, multicentre trial // *Lancet.* 2000. Vol. 355. P. 1119–1125.
34. Wust P., Wlodarczyk W., Ganter H. et al. MR monitoring for deep heating of pelvic tumors present status and outlook. // 22nd An. Meeting of the Europ. Soc. for Hyperthermic Oncology. Abstracts. – Graz. Austria. 2005. P. 1–2.
35. Bing C., Staruch R. M., Tillander M. et al. Drift correction for accurate PRF-shift MR thermometry during mild hyperthermia treatments with MR-HIFU // *Int. J. Hyperthermia.* 2016. Vol. 32. № 6. P. 673–687.
36. Bruggmoser G., Bauchowitz S., Canters R. et al. Guideline for the clinical application, documentation and analysis of clinical studies for regional deep hyperthermia // *Strahlenther. Onkol.* 2012. Suppl. 2. Vol. 188. P. 198–211. DOI 10.1007/s00066-012-0176-2.
37. Kok H.P., Kotte A.N.T.J., Crezee J. Planning, optimisation and evaluation of hyperthermia treatments // *Int. J. Hyperthermia.* 2017 (in press). Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/02656736.2017.1295323>.
38. Harima Y., Ohguri T., Imada H. et al. A multicentre randomised clinical trial of chemoradiotherapy plus hyperthermia versus chemoradiotherapy alone in patients with locally advanced cervical cancer // *Int. J. of Hyperthermia.* 2016. Vol. 32. № 7. P. 801–808.
39. Vasanthan A., Mitsumori M., Park J.H. et al. Regional hyperthermia combined with radiotherapy for uterine cervical cancers: a multi-institutional prospective randomized trial of the international atomic energy agency // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2005. Vol. 61. № 1. P. 145–53.
40. Konishi F., Furuta K., Kanazawa K. et al. The effect of hyperthermia in the preoperative combined treatment of radiation, hyperthermia and chemotherapy for rectal carcinoma // *Jpn. J. Gastroenterol. Surg.* 1994. Vol. 27. P. 789–796.
41. Nagata Y., Okuno Y., Hiraoka M. et al. Radiofrequency hyperthermia for malignant liver tumors // *Proc. 7th Int. Congress on Hyperthermic Oncology.* – Rome. 1996. Vol. 2. P. 28–30.
42. Kurpeshev O.K., Florovskaya N.Yu. Rezul'taty palliativnoy termoluchevoy terapii metastazov kolorektalnogo raka v pechen' // *Med. radiol. i radiats. bezopasnost'.* 2014. Vol. 59. № 5. P. 32–36.
43. Ohguri T., Imada H., Yahara K. et al. Radiotherapy with 8-MHz radiofrequency-capacitive regional hyperthermia for stage III non-small-cell lung cancer: the radiofrequency-output power correlates with the intraesophageal temperature and clinical outcomes // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009. Vol. 73. № 1. P. 128–135.
44. Yoshida M., Shioura H., Tomi M. et al. Multimodal combination therapy including hyperthermia for inoperable pancreatic cancer // *Proc. 7th Internat. Congress on Hyperthermic Oncology.* – Rome. 1996. Vol. 2. P. 38–39.
45. Noh J.M., Kim H.Y., Park H.C. et al. *In vivo* verification of regional hyperthermia in the liver // *Radiat. Oncol. J.* 2014. Vol. 32. № 4. P. 256–261.
46. Zubarev A.L., Kuril'chik A.A., Kurpeshev O.K. et al. Lokal'naya gipertermiya v kombinirovannom lechenii mestnorasprostranennykh sarkom myagkikh tkaney // *Sibirskiy onkol. zh.* 2015. № 3. P. 55–60.
47. Pankratov V.A., Andreyev V.G., Kurpeshev O.K. et al. Primeneniye termokhimioluchevogo lecheniya u bol'nykh s mestno-rasprostranennym rakom gortani i gortanoglotki // *Rossiyskiy onkol. zh.* 2006. № 4. P. 20–23.
48. Berdov B.A., Yerygin D.V., Nevol'skikh A.A. et al. Mezhdistsiplinarnyy podkhod v lechenii raka pryamoy kishki // *Povolzhskiy onkologicheskii vestnik.* 2015. № 4. P. 21–28.
49. Kurpeshev O.K., Ragulin Yu.A., Mozerov S.A. et al. Vozmozhnosti lokal'noy gipertermii pri lechenii bol'nykh otechnoy formoy raka molochnoy zhelezy // *Voprosy onkologii.* 2016. Vol. 62. № 5. P. 680–687.
50. Datta N.R., Grobholz R., Puric E. et al. Enhanced tumour regression in a patient of liposarcoma treated with radiotherapy and hyperthermia: Hint for dynamic immunomodulation by hyperthermia // *Int. J. Hyperthermia.* 2015. Vol. 31. № 5. P. 574–577. doi: 10.3109/02656736.2015.1033482.
51. Wust P. *Thermotherapy in oncology.* 1st ed. – Bremen: UNI-MED. 2016 (UNI-Med Science). 95 pp.
52. Kok H.P., Crezee J., Franken N.A. et al. Quantifying the combined effect of radiation therapy and hyperthermia in terms of equivalent dose distributions // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2014. Vol. 88. P. 739–745.
53. Van der Zee J., Vujaskovic Z., Kondo M., Sugahara T. Part I. Clinical Hyperthermia. The Kadota Fund International Forum 2004 – Clinical group consensus // *Int. J. Hyperthermia.* 2008. Vol. 24. № 2. P. 111–122.

Л.П. Жаворонков, В.Г. Петин**РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ “DOSIMETRY IN BIOELECTROMAGNETICS”****Edited by Marko Markov. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Frankis Group. 2017. – 428 pp.**

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Национального медицинского исследовательского радиологического центра Министерства здравоохранения РФ, Обнинск

Л.П. Жаворонков – д.м.н.; В.Г. Петин – д.б.н.

Поступила: 23.06.2017. Принята к публикации: 12.07.2017

В рецензируемой книге рассматриваются существующие в настоящее время методы и проблемы дозиметрии в биоэлектромагнетизме для оценки дозы облучения, получаемой организмом человека при действии электрических, магнитных и неионизирующих электромагнитных полей. Весомый вклад в издание этой полезной книги внес её редактор Marko Markov, сумевший для написания 19 глав книги привлечь ведущих исследователей по дозиметрии и интерпретации биологических эффектов в этой области. В книге подробно освещены опасности и возможности практического использования электромагнитных полей (ЭМП).

За последние десятилетия возник и сформировался новый фактор окружающей среды – ЭМП и неионизирующие электромагнитные излучения (ЭМИ) антропогенного происхождения. В результате суммарная напряженность ЭМП и интенсивность неионизирующих ЭМИ увеличилась по сравнению с естественным фоном в тысячи раз. Еще один аргумент, подтверждающий актуальность проблемы действия неионизирующих излучений, заключается в наличии у разных ученых кардинально различающихся точек зрения на механизмы действия неионизирующих ЭМИ некоторых частотных диапазонов и вытекающего отсюда громадного различия в санитарно-гигиенических безопасных уровнях воздействия, рекомендованных в разных странах.

Во первой главе Marko Markov отмечает, что медицина в XXI веке характеризуется растущим разнообразием диагностических и терапевтических устройств, основанных на изменяющихся во времени сигналах электрических, магнитных и электромагнитных неионизирующих полей (далее ЭМП), многие из которых нуждаются в совершенствовании методов их дозиметрии. Параллельно автор напоминает, что не только тепловые, но и нетепловые эффекты, о которых неоднократно писали советские и российские ученые, могут вызывать биологические последствия. В таком случае удельная поглощенная мощность (SAR) не может служить адекватным дозиметрическим параметром. Более того, уже опубликованные различными авторами результаты указывают на потенциальную опасность сотовых телефонов, устройств связи WiFi, беспроводных счетчиков коммунальных услуг и пр. В связи с этим автор настоятельно предлагает разработать альтернативные стандарты безопасности ЭМП с учетом нетепловых эффектов.

Автор второй главы L.A. Portelli анализирует причины отсутствия консенсуса среди исследователей относительно биологических эффектов и перспективы использования в медицине статических и чрезвычайно низкочастотных электрических и магнитных полей.

Неоднозначности и неопределенности описываемых эффектов могут быть следствием сложных комбинаций однократного, повторяющегося или прерывистого воздействия, частоты следования импульсов, их амплитуды, скважности, ориентации и даже температуры окружающей среды. Другой причиной несоответствия результатов разных исследователей является отсутствие адекватных методов дозиметрии.

Причины невоспроизводимости биологических эффектов ЭМИ обсуждаются и в третьей главе. Автор C.F. Blackman описывает свою попытку воспроизвести известные результаты о резонансном выходе ионов кальция из мозга цыплят после воздействия нетепловых интенсивностей модулированных микроволн 147 МГц. Выход кальция из ткани мозга цыпленка зависел от частоты модуляции основного сигнала. Если выход кальция составлял 2–3 % при непрерывном режиме генерации ЭМИ, то при частотах модуляции от 3 до 16 Гц выход кальция плавно возрастал до 20–22 %, а затем снова уменьшался до 2–3 % при повышении частоты модулирующего сигнала до 35 Гц, оптимальная частота модуляции составляла 16 Гц. Для воспроизведения этих результатов автору потребовалось почти 9 мес, при этом использовали более 60 цыплят в неделю. Автор заключает, что желание воспроизвести необычный экспериментальный результат требует использования абсолютно идентичных устройств, методов и материалов.

Авторы четвертой главы R. Cadossi, S. Setti, M. Cadossi, L. Massari обосновывают базу для развития методов лечения с использованием импульсного воздействия ЭМП и ультразвука. В отличие от фармакологических препаратов, эффективность которых снижается при уменьшении концентрации, эффекты ЭМП остаются постоянными во времени при отсутствии побочных эффектов. Обсуждается возможность потенцировать локальное воздействие лекарств при их комбинации с ЭМП или ультразвуком.

В пятой главе авторы K.H. Mild, M.-O. Mattsson приходят к выводу, что главная трудность в определении возможных рисков для здоровья, связанных с воздействием ЭМП, связана с отсутствием знаний о том, что представляет собой «доза» для низкочастотного радиочастотного поля, а также в области слабых полей и нетепловых интенсивностей. Существующие руководящие принципы безопасного воздействия ЭМИ (ICNIRP, 1998, 2010) направлены на устранение острых тепловых эффектов от высокочастотных полей и нейровозбуждения от низкочастотных полей.

Шестая глава, написанная M.S. Andjelković и G.S. Ristić, посвящена физическим аспектам радиочастотной дозиметрии. И эти авторы напоминают, что

в течение последних десятилетий воздействие радиочастотных излучений значительно увеличилось благодаря развитию и использованию беспроводных сетей, коммуникационных технологий, таких как мобильные телефоны, беспроводная сеть, радиолокационные системы, теле- и радиовещание, микроволновые печи и т.д. Подтверждено, что неконтролируемое радиочастотное облучение может оказывать неблагоприятное воздействие. Детально описаны основные физические аспекты дозиметрии ЭМП.

Автор седьмой главы V.Greenebaum консолидируется с идеями, изложенными в третьей главе о трудностях проверки результатов экспериментальных исследований, поскольку некоторые эффекты могут быть небольшими, часто того же порядка величины, что и «шум» эксперимента или флуктуации в серии измерений. Отсутствие воспроизводимости эффектов, близких к фоновому «шуму», задерживают прогресс в биоэлектромагнетизме и заставляют многих исследователей сомневаться в обоснованности сообщений об эффектах низкоинтенсивных облучений. Автор приходит к выводу, что при попытках подтвердить интригующие эффекты ЭМП необходимо неукоснительно использовать идентичные условия экспериментов по специфическим эффектам вместо того, чтобы порождать дальнейшую путаницу.

Восьмая глава (F.S. Barnes) «Внешние электрические и магнитные поля, как сигнальный механизм для биологических систем» фактически подтверждает гипотезу, сформулированную советским исследователем А.С. Пресманом еще в 1968 г. в монографии «Электромагнитные поля и живая природа». Отмечается, что большинство физических и биологических явлений нашей жизни обусловлено электромагнитными силами. Электромагнитными взаимодействиями определяются многие микро- и макроскопические явления – взаимодействие между ядрами и электронами, химическая связь, структура молекул, различные типы внутриклеточных взаимодействий, межклеточные связи, биологические ритмы, силы упругости, трения и т.д. Определяющая роль электромагнитной природы многих биологических процессов означает, что внешние ЭМП могут в ряде случаев выступать как источники электромагнитных помех, снижающих надежность жизненных процессов человека, животных и экосистем. В этой главе было показано, что слабые магнитные поля могут модифицировать продолжительность существования и концентрацию радикалов, например реактивных видов кислорода. Эти молекулы, как и молекулы закиси азота, являются сигнальными молекулами, которые являются важными для многих биологических процессов, таких как обмен веществ и активация мышц.

В девятой главе (автор И. Беляев) снова поднимается вопрос о применимости понятия «доза» при оценке тепловых и нетепловых биологических эффектов микроволн 300 МГц–300 ГГц. Подчеркивается, что подразделение эффектов на термические и нетепловые не основано на физике взаимодействия ЭМП с биологическими тканями, а скорее отражает экспериментальное наблюдение за нагревом, вызванным воздей-

ствием ЭМИ. Тепловые эффекты микроволн хорошо описываются параметром SAR (Вт/кг), который часто называют «дозой», что с точки зрения физики неверно. Этот факт отмечался нами вместе с Ю.Г. Григорьевым ранее (В.Г. Петин и др. Радиационная биология. Радиоэкология 2012. Т. 52. № 5. С. 542–545). Мы предложили термин SAR переводить как мощность поглощенной дозы (МПД). В физике доза ионизирующих излучений (Дж/кг) определяется как удельная поглощенная энергия и рассчитывается как мощность дозы, умноженная на продолжительность воздействия. Пределы безопасности, установленные SAR, защищают только от тепловых эффектов микроволн (ICNIRP, 1998). Значения SAR не могут применяться для обеспечения безопасности нетепловых эффектов ЭМП. В отличие от Международной комиссии по защите от неионизирующей радиации (ICNIRP), в российских стандартах безопасности ЭМИ не используются значения SAR, но ограничивается продолжительность экспозиции и плотность потока энергии (ППЭ, Вт/см²) (SanPiN, 1996). Большинство нормативов безопасности в других странах основываются на работе с высокими интенсивностями и в них редко учитываются другие параметры, такие как модуляция, частота и продолжительность воздействия, которые, как было показано многими авторами, являются важными для интерпретации биологических эффектов.

К похожему умозаключению о SAR приходит и другой российский ученый А.А. Гапеев, изложивший свое отношение к этой проблеме в десятой главе «Практические принципы дозиметрии при изучении биологических эффектов чрезвычайно высокой частоты электромагнитных полей». Он подчеркивает необходимость установления связи между параметрами внешних ЭМП, влияющими на биологические объекты, и параметрами полей, проникающих или возникающих в открытой системе, которые и являются ответственными за индуцируемые биологические эффекты. Без учета этих модификаций поля исследование механизмов биологических эффектов ЭМИ становится некорректным.

В главе 11 «Экспериментальные подходы для локального нагрева и измерения поглощения» (автор А.Г. Пахомов) дается обзор результатов многих исследователей. Констатируется, что описанный многими авторами метод локального измерения SAR доказал свою точную и надежную работу. Значения SAR, измеренные при повышенной интенсивности поля, могут быть линейно уменьшены (пропорционально выходной мощности) для определения локального значения SAR в биологических экспериментах. Автор этой главы следует общепринятому представлению, изложенному в предыдущих главах, – в биоэлектромагнетизме точная дозиметрия является ключом, позволяющим сравнивать результаты, полученные в различных условиях воздействия и в разных лабораториях. Наоборот, неадекватная или ошибочная дозиметрия делает любые биологические результаты невоспроизводимыми и бесполезными.

Глава 12 (авторы E. Pirc, M. Reberšek, D. Miklavčič) посвящена дозиметрии при использовании электро-

порации в медицине и биотехнологиях, главным образом в пищевой промышленности. Электропорация – создание пор в бислойной липидной мембране под действием электрического поля. Это явление используется для внедрения макромолекул в клетки млекопитающих, бактерий или растений. Отмечается, что ДНК-вакцинация с интерлейкином-12 у пациентов с метастатической меланомой показала большие перспективы в клинических исследованиях при использовании электрических импульсов. Во многих биотехнологических методах в том или другом виде применяется электропорация – инаktivация микроорганизмов, нетепловая пастеризация пищи для её консервации и пр. Для электропорации чаще всего используют импульсные электрические поля. Авторы разумно считают, что в методах с использованием электропорации решающее значение для достижения желаемого эффекта имеет проведение дозиметрии, которое в описанных методах сводится к измерению напряжения и тока, подборе оптимальных параметров и последовательности электрических импульсов.

Большой интерес представляет глава 15, в которой председатель Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений проф. Ю.Г. Григорьев анализирует различия в подходах при разработке стандартов для ЭМП радиочастот в России и международных комиссиях. Он начинает с истории разработки стандартов. В отличие от западных стран, безопасные уровни воздействия микроволн в СССР (а позже в России) базировались не на тепловых эффектах, а на эпидемиологических исследованиях профессионалов и жителей, подвергавшихся хроническому и длительному воздействию ЭМП. Российский стандарт для базовых станций уже существует более чем 30 лет и является более жестким, чем максимальный уровень, рекомендованный Международной комиссией по неионизирующей радиационной защите (ICNIRP). Эти различия обсуждались на научных форумах в течение многих лет, к сожалению, безрезультатно. Второй потенциально опасный источник ЭМП – мобильный телефон – не имеет достаточного обоснованных пределов воздействия. Облучение мозга не ограничено законами и не контролируется. Дети, использующие мобильные телефоны, особенно подвержены риску. Существующие в настоящее время стандарты не могут гарантировать благополучие детей. В этой связи необходимо разработать более строгие стандарты для обеспечения безопасности растущих поколений. Существующие стандарты должны учитывать наличие группы людей, чувствительных к действию ЭМП. Учитывая, что действующие правила устарели, пред-

лагается выполнить комплекс исследований возможных биологических эффектов при условиях хронического воздействия низкоинтенсивного ЭМП, имея в виду, прежде всего, долгосрочное воздействие на мозг. В качестве временной меры ограничения воздействия ЭМП на население предлагается ввести понятие «добровольный риск» по аналогии с необъявленным, но фактически существующим добровольным риском от автомобилей, самолетов и пр. Другими словами, использование мобильных телефонов, как выражается Ю.Г. Григорьев, должно быть продуктом самоотбора.

Некоторые главы рецензируемой книги посвящены достаточно узким частным направлениям использования электромагнетизма и имеют косвенное отношение к медицинской радиологии. Так, авторы главы 13 P. Bienkowski, H. Trzaska посвящают свою работу главным образом биологам и врачам, участвующим в практическом использовании методов биоэлектромагнетизма, с тем чтобы обратить их внимание на физическую и техническую сторону их работы. В 14-й главе автор H.N. Mayrovitz обсуждает результаты и проблемы дозированного влияния магнитного поля на клетки сосудов, кровотоков и гемодинамику. Любопытные данные приводятся в главе 16. Автор S. Aугаретуан подтверждает результаты ряда исследователей, на основании которых предлагается внутриклеточную сигнальную систему, контролирующую присоединение воды к молекулам, атомам или ионам (гидратация), использовать в качестве биомаркера для адекватной оценки биологического воздействия ЭМП на клетки и организмы. В главе 17 автор W. Pawluk описывает известные методы и трудности клинической дозиметрии чрезвычайно низкочастотных ЭМП. В главе 18 автор B.F. Sisken уделяет внимание возможности усиления регенерации нервной ткани некоторыми электромагнитными сигналами. Данные, полученные в исследованиях *in vitro* и *in vivo*, показывают, что конкретные формы сигналов и плотность тока, создаваемые импульсными ЭМП, могут влиять на скорость регенерации поврежденных периферических нервов.

Главный вывод, вытекающий из представленных в книге результатов, заключается в подчеркиваемой многими авторами необходимости совершенствования методов дозиметрии и разработки новых нормативов безопасности, где должны приниматься во внимание нетепловые эффекты, возникающие при длительных и хронических воздействиях ЭМП. Такая необходимость фактически означает справедливость методологии разработки российских нормативов безопасности и намечает реальные пути гармонизации нормативов безопасности ЭМП в разных странах.

DOI 10.12737/article_59f304da492b68.08969504

**Book review “Dosimetry in Bioelectromagnetics” Edited by Marko Markov.
– Boca Raton: CRC Press, Taylor & Frankis Group. 2017. 428 pp.**

L.P. Zhavoronkov, V.G. Petin

A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russia.

L.P. Zhavoronkov – Dr. Sc. Med., V.G. Petin – Dr. Sc. Biol.

DOI 10.12737/article_59f3059835b296.74355644

А.С. Самойлов**ФЕДЕРАЛЬНОМУ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОМУ АГЕНТСТВУ – 70 ЛЕТ**

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

А.С. Самойлов – генеральный директор ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, д.м.н.

Поступила: 23.06.2017. Принята к публикации: 12.07.2017

13 сентября 2017 г. состоялось торжественное мероприятие, посвященное знаменательному юбилею – 70-летию со дня организации Федерального медико-биологического агентства. Представители научной и медицинской общественности нашей страны, руководители многих министерств и ведомств сердечно поздравили сотрудников научных и лечебно-профилактических организаций ФМБА России с торжественной датой.

70 лет назад было создано 3-е Главное управление при Минздраве СССР, призванное стоять на страже здоровья работников предприятий, которые обеспечивали национальную безопасность нашей Родины. Таким образом в нашей стране была создана уникальная система медико-санитарного обеспечения работников оборонных отраслей промышленности, связанных с решением глобальной проблемы – создание «ядерного щита» нашей страны. Большой вклад в становление и развитие отрасли внесли несколько поколений специалистов Федерального медико-биологического агентства России (бывшего 3-го Главного управления при Минздраве СССР).

В теплой и сердечной обстановке состоялась встреча руководства ФМБА России с ветеранами центрального аппарата. Руководитель ФМБА России профессор В.В. Уйба отметил большой вклад ветеранов в становление и развитие агентства и пожелал им здоровья и благополучия на многие годы. Ветераны в своих выступлениях поблагодарили за поддержку внимание и



участие в их судьбе. Своими воспоминаниями поделились В.С. Горбачевский, О.И. Шамов, В.Ф. Казенашев, В.В. Левицкий, Н.Т. Иванова, Н.И. Ситнова и др. Затем в течение того же дня руководитель агентства В.В. Уйба дал развернутую пресс-конференцию представителям центральных телеканалов. Отвечая на многочисленные вопросы журналистов, В.В. Уйба подробно остановился на истории создания Федерального медико-биологического агентства России и четко определил те задачи и проблемы, которые агентству предстоит решать в ближайшие годы.

Основные юбилейные мероприятия начались в концертном зале Вегас-сити, куда были приглашены представители научной и медицинской общественности организаций ФМБА России, а также многочисленные гости, пришедшие поздравить юбиляров. Вначале полномочный представитель Президента Российской Федерации в Центральном федеральном округе А.Д. Беглов зачитал приветствие президента В.В. Путина в адрес коллектива ФМБА России, в котором В.В. Путин отметил значимый вклад ведомства в медико-санитарное обеспечение работников ключевых, высокотехнологичных отраслей отечественной экономики, а также пожелал работникам отрасли здоровья и благополучия и успехов в крайне ответственной и нужной для страны работе. В приветствии Премьер-министра, зачитанном Министром здравоохранения Российской Федерации В.И. Скворцовой, а также в своем выступлении министр отметила, что в настоящее время ФМБА России занимает лидирующие позиции в таких наукоемких дисциплинах как ядерная, космическая и водолазная медицина. Агентство в числе первых приходит на помощь людям при чрезвычайных ситуациях. Теплые поздравления





в адрес ФМБА России поступили от руководителей обеих палат Федерального собрания В.И. Матвиенко и В.Е. Володина, заместителя Председателя Правительства Российской Федерации О.Ю. Голодец, председателя Счетной палаты Т.А. Голиковой, руководителей комитетов федерального собрания В.В. Рязанского, Д.А. Морозова, В.А. Шаманова, заместителя руководителя аппарата Правительства Российской Федерации И.В. Боровкова, главного государственного сани-

тарного врача Российской Федерации, руководителя Роспотребнадзора А.Ю. Поповой, а также генерального директора ГК «Росатом» А.Е. Лихачева.

В своем выступлении руководитель ФМБА России В.В. Уйба высказал признательность руководству страны и представителям министерства ведомства за то внимание, которое они постоянно оказывают Федеральному медико-биологическому агентству, что позволяет агентству достойно на высоком профессиональном уровне решать поставленные правительством Российской Федерации перед ним задачи. Далее В.В. Уйба коротко остановился на истории создания агентства, его становлении, задачах и ближайших перспективах.

После официальной части был дан праздничный концерт с участием известных артистов, все намеченные мероприятия прошли в теплой и сердечной атмосфере. Редколлегия журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность» также присоединяется к многочисленным поздравлениям ФМБА России и желает сотрудникам отрасли благополучия и дальнейших успехов в их плодотворной деятельности.

The 70th Anniversary of Federal Medical Biological Agency A.S. Samoylov

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

A.S. Samoylov – Director General of A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Dr. Sci. Med.

DOI 10.12737/article_59f3066679dcd0.95058848

С.М. Маммаев, Э.Р. Нагиев, Р.К. Шахбанов
ДАГЕСТАНСКОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ МЕДИЦИНСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ В 2017 г.
ИСПОЛНЯЕТСЯ 85 ЛЕТ

Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала

С.М. Маммаев – ректор ДГМУ, д.м.н., проф.;

Э.Р. Нагиев – зав. кафедрой общей и биохимии ДГМУ, д.м.н., проф.;

Р.К. Шахбанов – проректор по общественным связям и социально-воспитательной работе ДГМУ, к.м.н., доц.

Поступила: 23.06.2017. Принята к публикации: 12.07.2017

В 1932 г. Совет Народных Комиссаров ДАССР принял историческое постановление об образовании Дагестанского государственного медицинского института в целях подготовки врачебных кадров для Дагестана и республик Северного Кавказа. Особое внимание было уделено подготовке медицинских кадров из коренных национальностей республики. У истоков открытия и развития вуза стояли замечательные ученые и организаторы здравоохранения как М.Ю. Нахибашев, О.А. Байрашевский, Х.О. Булач, Г.П. Руднев, Я.Г. Савицкий, П.А. Мавродиadi, А.В. Россов и другие.

За долгие годы своей деятельности наш вуз испытал тяготы и лишения периода становления, эпидемическое неблагополучие, голод и разруху, которые принесла Великая Отечественная война, тяжелые годы послевоенного восстановления, нелегкое перестроечное время, и не только выстоял, но и все это время работал с необыкновенной отдачей, укреплял свои позиции и приумножал славу вуза. Судьбу нашего университета в разное время вершили люди, преданные своему долгу, посвятившие свою жизнь служению медицине. Им были присущи высокая гражданственность, увлеченность, творческое созидание, но, самое главное, они отличались необыкновенной добротой, сердечностью, порядочностью.

Особый расцвет института пришелся на 70–80-е годы прошлого столетия. Были построены морфологический корпус, учебно-лабораторный комплекс, целый ряд подсобных помещений. Значительно расширилась Республиканская клиническая больница, вступили в строй стоматологическое и педиатрическое учреждения Дагестана. Все это позволило открыть стоматологический и педиатрический факультеты института. Качественно изменился и профессорско-преподавательский состав института. Практически все кафедры возглавили доктора наук, профессора, главным образом, выпускники нашего института.



Немало сотрудников и выпускников института стали выдающимися деятелями медицины и занимали видные посты в системе советского здравоохранения: академик О.В. Бароян – главный эпидемиолог Советского Союза; член-корр. АМН СССР А.Ф. Серенко – заместитель министра здравоохранения СССР и другие.

Выпускники Дагестанского государственного медицинского университета работают в различных медицинских учреждениях республики, России и зарубежных государств, возглавляют крупные лечебные и научно-исследовательские центры.

ДГМУ является крупным центром физической культуры и спорта в республике. Среди его выпускников – пятикратный чемпион мира А. Алиев, чемпион мира и двукратный призер Олимпийских игр М. Арацилов и более 40 мастеров спорта СССР и РФ.

В 1995 г. по результатам рейтинговой оценки медицинских вузов РФ Дагестанский государственный медицинский институт был переименован в академию, а в 2016 г. получил статус университета.

Большое внимание в ДГМУ уделяется расширению объема образовательных услуг с учетом потребностей практического здравоохранения республики. Так, за последние годы открыты два новых факультета – медико-профилактический и фармацевтический, в которых интенсивно развивается медицинская наука, а исследования ученых имеют не только практическое, но и фундаментальное значение, получая международное признание. Ученые университета работают в тесном контакте с ведущими научными центрами России и зарубежья.



Сотрудниками университета за последние 5 лет изданы 101 монография, более 60 учебников и учебных пособий с грифом УМО Минздрава России, 3 – с грифом ФИРО и около 260 учебно-методических пособий с грифом ЦКМС ДГМУ. При университете успешно функционирует система защиты результатов интеллектуальной деятельности, создана соответствующая электронная база данных. О высокой ценности научных исследований, проводимых в ДГМУ, говорит и тот факт, что ежегодно ученые получают более 80 патентов на изобретения и примерно столько же свидетельств на полезные модели, которые успешно внедряются в практическое здравоохранение Республики Дагестан, продвигаются на российский медицинский рынок. Более 60 научных разработок сотрудников вуза ежегодно экспонируются на различных выставках. С 2001 г. плодотворно работает Интернет-класс, благодаря которому научные сотрудники, преподаватели и студенты могут проводить научный поиск.

В настоящее время научные исследования в университете ведутся по 9 комплексным проблемам. В последние годы увеличилось количество защищенных диссертаций и улучшилось их качество. За время работы специализированного диссертационного Совета защищены 166 диссертаций, в том числе 32 докторских и 134 кандидатских. Ежегодно в университете защищаются в среднем 4 докторских и 15 кандидатских диссертаций. Периодический научный журнал «Вестник ДГМА» включен в Перечень журналов ВАК, где рекомендуется опубликование результатов диссертационных исследований.

За прошедшие годы Дагестанский государственный медицинский университет превратился в настоящую школу врачебного искусства. Им выпущено более 27 тыс. врачей, которые трудятся во всех уголках нашей страны.

В ДГМУ сформирован высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав, среди которых 706 преподавателей, в том числе 66 профессоров, 179 доцентов, 418 кандидатов медицинских наук, 116 докторов медицинских наук. Ученые университета постоянно участвуют в ежегодно проводимых международных конференциях, конгрессах, симпозиумах, съездах (Москва, Санкт-Петербург, Сочи,

Чикаго, Женева, Базель, Стокгольм, Вена, Кипр и др). По удельному весу преподавателей с учеными степенями (74,7 %) ДГМУ находится на уровне центральных медицинских вузов России.

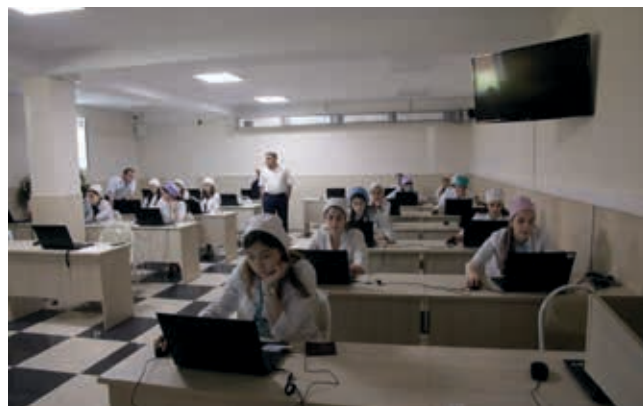
В настоящее время в вузе обучаются более 5 тыс. студентов, среди них более 100 иностранных граждан из 12 стран. Более 1700 врачей ежегодно повышают свою квалификацию на факультете усовершенствования врачей.

Осмысливая происходящие перемены, коллектив ДГМУ понимает, что стоит на пороге новой эпохи, в которой его ожидают новые реальности, новые испытания и что его главная обязанность перед будущим – оставить после себя образованное поколение специалистов, сильные научные школы, стремящиеся к творчеству и познанию.

Коллектив университета видит свою задачу не только в подготовке высококвалифицированных медицинских кадров, но и в активном реформировании системы здравоохранения, внедрении инновационных технологий в образовательный, лечебный и научный процессы.

Ректоратом вуза подготовлен перспективный план развития ДГМУ, включающий приоритеты, касающиеся повышения качества образовательного процесса, инновационного развития, расширения и интенсификации научных исследований, совершенствования лечебной работы, развития систем послевузовского профессионального образования, менеджмента качества образования, интеграции в мировое образовательное пространство, формирования корпоративной культуры, гармоничного воспитания личности студента.

В ходе своего поступательного развития университет превратился в многофункциональный вуз. В настоящее время Дагестанский государственный медицинский университет – это крупный учебный, научный и лечебный центр, в структуру которого входят: 5 факультетов; достаточно крупная база для фундаментальных и клинических дисциплин; широкая сеть клинических баз всех профилей (более 40); 75 кафедр, возглавляемых докторами наук, профессорами; НИИ экологической медицины; собственная консультативно-диагностическая поликлиника; медицинский колледж; центр трудоустройства выпускников уни-



верситета; информационно-вычислительный отдел и центр технического обеспечения; аналитический отдел; Интернет-центр; научная медицинская библиотека; спортивный комплекс; издательско-полиграфический центр; центр аккредитации специалистов. В июне текущего года в торжественной обстановке в присутствии представителей научно-образовательного кластера СКФО «Северо-Кавказский» во главе с председателем кластера, ректором Ставропольского государственного медицинского университета Владимиром Кошелем был сдан в эксплуатацию новый научно-образовательный инновационный центр ДГМУ. В этом же месяце в ДГМУ прошла 34-я научно-практическая конференция РНМОТ (Российское научное медицинское общество терапевтов), посвященная 120-летию со дня рождения В.Х. Василенко.

Сотрудники кафедр биохимии и общей гигиены Дагестанского государственного медицинского университета уже более 30 лет проводят научные исследования по воздействию радиации на организм и поиску средств направленной регуляции метаболических процессов в пораженном организме. Приоритетным направлением при этом является исследование метаболизма нуклеотидов и биоэнергетики органов и тканей

организма при радиационных воздействиях и коррекция наблюдающихся изменений витаминно-коферментными препаратами. В последние годы в комплексе с этими препаратами при экспериментальной лучевой болезни используется перфторан. Кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии ДГМУ занимается разработкой прогностических критериев при гормонообусловленных опухолях (рак молочной железы, рак тела и шейки матки), а также усовершенствованием лучевых методов диагностики и лечения злокачественных опухолей, идет разработка клинического материала по эпидемиологии онкозаболеваемости в Республике Дагестан за последние 10 лет. При непосредственном участии сотрудников кафедры в практику республиканского онкологического диспансера внедрены новые современные технологии диагностики и лечения онкобольных с использованием газовой-гипоксических смесей (ГГС-10).

Дагестанский государственный медицинский университет сегодня является признанным центром инновационного образования, науки и культуры региона, сохраняет лучшие отечественные традиции, обогащает их новым опытом мирового образовательного и научного пространства.

DOI 10.12737/article_59f3066679dcd0.95058848

Dagestan State Medical University Celebrated 85th Anniversary in 2017

S.M. Mammaev, E.R. Nagiev, R.K. Shakhbanov

Dagestan State Medical University, Mahachkala, Russia

S.M. Mammaev – Chancellor, Dr. Med. Sc., Prof.

E.R. Nagiev – Head of General and Biochemistry Department, Dr. Med. Sc., Prof.

R.K. Shakhbanov – Vice-Chancellor for Public Relations and Social-Educational Work, PhD Med., Associated Prof.

DOI 10.12737/article_59f30bf2d97d38.88277766

**В.В. Уйба¹, А.В. Аклеев^{2,3}, Т.В. Азизова⁴, С.А. Гераськин⁵, В.К. Иванов⁶, Д.Ф. Ильясов⁷,
Л.А. Карпикова¹, А.Н. Котеров⁸, А.И. Крышев⁹, С.Г. Михеенко¹⁰, С.А. Романов⁴,
В.Ю. Усольцев¹⁰, С.М. Шинкарев⁸**

**ИТОГИ 64-Й СЕССИИ
НАУЧНОГО КОМИТЕТА ПО ДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ РАДИАЦИИ (НКДАР) ООН
(Вена, 29 мая – 2 июня 2017 г.)**

1. Федеральное медико-биологическое агентство, Москва.
2. Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск.
3. Челябинский государственный университет, Челябинск.
4. Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерск, Челябинская область.
5. Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Обнинск.
6. Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал Национального медицинского исследовательского радиологического центра Министерства здравоохранения РФ, Обнинск.
7. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва.
8. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Москва.
9. «НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск.
10. Государственная корпорация по атомной энергии, Москва.

В.В. Уйба – руководитель ФМБА России, д.м.н., проф.; А.В. Аклеев – директор ФГБУН УНПЦ РМ ФМБА России, д.м.н., проф.; Т.В. Азизова – зам. директора ФГУП ЮУРИБФ ФМБА России, к.м.н.; С.А. Гераськин – зав. лабораторией ВНИИРАЭ ФАНО, д.б.н., проф.; В.К. Иванов – зам. директора МРНЦ имени А. Ф. Цыба МЗ РФ, д.т.н., проф., член-корр. РАН; Д.Ф. Ильясов – н.с., к.э.н.; Л.А. Карпикова – нач. международного отдела ФМБА России; А.Н. Котеров – зав. лаб. ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, д.б.н.; А.И. Крышев – зав. лаб. «НПО «Тайфун» Росгидромета, д.б.н.; С.Г. Михеенко – нач. отдела Госкорпорации «Росатом»; С.А. Романов – директор ФГУП ЮУРИБФ ФМБА России, к.б.н.; В.Ю. Усольцев – гл. специалист Госкорпорации «Росатом»; С.М. Шинкарев – зав. отделом ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, д.т.н.

Реферат

Настоящая статья посвящена основным итогам работы 64-й сессии НКДАР ООН, которая прошла в период с 29 мая по 2 июня 2017 г. в Вене. В рамках совещаний Рабочей Группы и подгрупп состоялось обсуждение документов по следующим проектам:

- «Критерии качества для оценки Комитетом эпидемиологических исследований»;
- «Эпидемиология изучения риска рака вследствие облучения населения с низкой мощностью дозы от естественных источников излучения, включая научный анализ Комитетом фактора эффективности дозы и мощности дозы»;
- «Биологические механизмы, влияющие на медико-биологические воздействия радиации в малых дозах»;
- «Исследования после издания отчета НКДАР 2013 г. по уровням и эффектам облучения в результате радиационной аварии после землетрясения и цунами в Восточной Японии. Обзор изданной в 2016 г. литературы, включая оценку данных о раке щитовидной железы в регионах, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС»;
- «Облучение ионизирующей радиацией пациентов»;
- «Облучение работников ионизирующей радиацией»;
- «Некоторые оценки медицинских последствий для здоровья и риска после радиационного воздействия»;
- «Рак легкого при воздействии радона и проникающей радиации».

Обсуждены организационные вопросы, касающиеся подготовки публикаций НКДАР, возможность создания постоянно действующих Рабочих групп, работы с общественностью, а также будущая программа исследований, отчет Генеральной ассамблеи ООН и другие.

Ключевые слова: 64-я сессия НКДАР ООН, малые дозы, биологические эффекты, эпидемиология, медицинское облучение, профессиональное облучение

Поступила: 10.08.2017. Принята к публикации 21.09.2017.

Введение

С 29 мая по 2 июня 2017 г. состоялась 64-я сессия НКДАР ООН (Комитет), в которой приняли участие 160 экспертов из 27 стран-членов НКДАР ООН (Австралия, Аргентина, Белоруссия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Египет, Индия, Индонезия, Испания, Канада, Китай, Мексика, Пакистан, Перу, Польша, Республика Корея, Российская Федерация, Словакия, Судан, США, Украина, Финляндия, Франция, Швеция, Япония). В работе сессии также участвовали представители Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Европейской Комиссии (ЕК), Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) и Международного агентства по исследованию рака (МАИР).

Российская делегация включала 13 специалистов: В.В. Уйба – руководитель делегации (руководитель ФМБА России), А.В. Аклеев – официальный представитель Российской Федерации в НКДАР ООН (УНПЦ РМ ФМБА России), Т.В. Азизова и С.А. Романов (ЮУРИБФ ФМБА России), С.А. Гераськин (ВНИИРАЭ ФАНО), В.К. Иванов (МРНЦ Минздрава РФ), Д.Ф. Ильясов (ИБРАЭ РАН), Л.А. Карпикова (ФМБА России), А.Н. Котеров, С.М. Шинкарев (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России), А.И. Крышев (ФГБУ НПО «Тайфун» Росгидромета), С.Г. Михеенко, В.Ю. Усольцев (ГК «Росатом»).

Сессия Комитета прошла под председательством Х. Ванмарк (Hans Vanmarcke, Бельгия). Обязанности секретаря НКДАР ООН выполнял М. Крик (M. Crick). Заместители председателя: П. Якоб (Peter Jacob, Германия), П. Томпсон (Patsy Thompson, Канада), М. Валигорский (Michael Waligórski, Польша).

На открытии сессии с приветственным словом выступил руководитель ФМБА России В.В. Уйба. В выступлении отмечена огромная роль НКДАР в совершенствовании мировой системы радиационной безопасности.

Результаты обсуждения научных отчетов

В рамках 64-й сессии НКДАР ООН были обсуждены следующие научные отчеты:

- R.720 «Критерии качества для оценки Комитетом эпидемиологических исследований»;
- R.721 «Эпидемиология изучения риска рака вследствие облучения населения с низкой мощностью дозы от естественных источников излучения, включая научный анализ Комитетом фактора эффективности дозы и мощности дозы»;
- R.722 «Некоторые оценки последствий для здоровья и оценка риска радиационного воздействия»;
- R.723 «Исследования после издания отчета НКДАР 2013 г. по уровням и эффектам облучения в результате радиационной аварии после землетрясения и цунами в Восточной Японии. Обзор изданной в 2016 г. литературы, включая оценку данных о раке щитовидной железы в регионах, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС»;
- R.724 «Облучение ионизирующей радиацией пациентов»;
- R.725 «Облучение работников ионизирующей радиацией»;
- R.726 «Рак легкого при воздействии радона и проникающей радиации»;
- R.727 «Биологические механизмы, влияющие на медико-биологические воздействия радиации в малых дозах».

Наибольшее количество вопросов, замечаний и дополнений поступило по отчетам R.720 («Критерии качества для оценки Комитетом эпидемиологических исследований») и R.721 «Эпидемиология изучения риска рака вследствие облучения населения с низкой мощностью дозы от естественных источников излучения, включая научный анализ Комитетом фактора эффективности дозы и мощности дозы»). После обсуждения принято решение закончить и опубликовать в 2017 г. отчеты R.720 («Критерии качества эпидемиологических исследований»), R.721 «Эпидемиология изучения риска рака вследствие облучения населения с низкой мощностью дозы от естественных источников излучения, включая научный анализ Комитетом фактора дозы – мощности дозы» и R.723 («Исследования после издания отчета НКДАР 2013 г. по уровням и эффектам облучения в результате радиационной аварии после землетрясения и цунами в Восточной Японии»). В этой связи на текущей сессии основное внимание было уделено вышеуказанным отчетам. По результатам обсуждения на 64-й сессии НКДАР ее участники должны направить свои письменные предложения, дополнения или замечания в Секретариат.

Документ R.720 «Критерии качества для оценки Комитетом эпидемиологических исследований»

Вышеуказанный документ является приложением к документу R.721 «Эпидемиология изучения риска рака вследствие облучения населения с низкой мощностью дозы от естественных источников излучения, включая научный анализ Комитетом фактора дозы – мощности дозы». На предыдущих сессиях при обсуждении документа R.721 возникало очень много вопросов относительно включения или исключения из обзора тех или иных эпидемиологических исследований. Для решения этой проблемы Комитет предложил создать рабочую группу и разработать критерии оценки качества эпидемиологических исследований с целью включения их в текущие и будущие обзоры Комитета. В декабре 2015 г. была организована экспертная группа по качеству в эпидемиологии (Expert Group on Epidemiology Quality – EG EQ), которая подготовила и представила на рассмотрение Комитета документ R.720 «Критерии качества для оценки Комитетом эпидемиологических исследований».

Необходимо отметить, что НКДАР ООН регулярно проводит обзоры результатов эпидемиологических оценок рисков для здоровья при различных видах облучения. Методы анализа результатов эпидемиологических исследований в последние десятилетия претерпели существенные изменения. Предпочтение в настоящее время отдается системным обзорам и мета-анализу, которые расцениваются как современные научные стандарты формирования совокупности научных доказательств и считаются более совершенными по сравнению с традиционными описательными обзорами.

Комитет разработал и рекомендовал общие принципы, используя которые можно оценивать и сопоставлять различные исследования. Подход Комитета предусматривает методологическую точность, что, согласно ожиданиям, еще больше повысит степень согласованности, прозрачности и объективности оценок эпидемиологических исследований.

Нацеленность на качество исследования и выявление сильных и слабых сторон различных исследований – это исторически сложившиеся принципы работы Комитета. Документ R.720 предполагает системный анализ качества исследований и включает следующие разделы: обзор типов эпидемиологических исследований, основные факторы, влияющие на качество эпидемиологических исследований и процесс синтеза результатов научно-исследовательских работ.

В документе R.720 отмечено, что в процессе анализа Комитет рассматривает различные исследования по оценке влияния облучения на людей и на окружающую среду, чтобы подготовить основание для принятия решений и нормативно-методических документов, а также информировать научное сообщество и общественность.

Согласно установленному в документе R.720 подходу, Комитет при подготовке обзоров должен выполнить последовательно несколько шагов:

- а) ясно определить тему и предмет обзора;
- б) выполнить поиск, который позволит идентифицировать все исследования, которые потенциально могут внести вклад в общую оценку и соответствовать ее задачам;
- в) применить общий подход к тщательному изучению качества исследований;
- г) объединить доступные данные из исследований, обобщив их результаты, если они отвечают критериям включения (т.е. содержат необходимые научные данные высокого качества);
- д) сделать общие выводы, используя результаты исследований, соответствующие критериям качества.

Комитет подчеркивает, что для обзоров полезными будут являться те исследования, в которых рассматриваются следующие вопросы:

- а) Возникают ли определенные заболевания (отдельные или группы болезней) чаще вследствие облучения?
- б) Какова величина эффекта, возникающего вследствие облучения?
- в) Как эффект зависит от временных параметров, пола и возраста, и какую форму имеет зависимость доза–эффект?

Помимо изучения величин риска эффекта, для оценки исследования Комитетом большое значение уделяется варьированию риска под влиянием факторов, которые изменяют зависимость облучение–болезнь, а именно, возраста на момент облучения и/или периода времени, прошедшего с момента облучения.

В документе подробно представлены основные факторы, оказывающие влияние на качество эпидемиологических исследований; а именно:

- определение изучаемой популяции и периода наблюдения;
- оценка радиационного воздействия, включая дозиметрические модели и расчет доз облучения, в т.ч. поглощенных в органах и тканях; валидность этих оценок и их неопределенность; использование биодозиметрии для уточнения дозиметрических данных;
- определение изучаемых эффектов, их точных кодов и диагностических критериев в соответствии с международными стандартами (например, Международной классификации болезней и причин смерти);
- полнота и качество данных;
- ошибки; главным образом, ошибки отбора случаев в исследование и информационные ошибки; ошибки публикации особенно важны для синтеза доказательной базы.

Значительное внимание в документе уделено процессу синтеза результатов научных исследований, включающего следующие шаги:

- а) прозрачный и систематический сбор информации, в основе которого лежит определенный протокол;

- б) извлечение из отобранных исследований или иных источников информации данных, имеющих отношение к изучаемой проблеме;
- в) оценка качества отдельных исследований в соответствии с недвусмысленными и упорядоченными стандартами;
- г) сведение отдельных данных в совокупность;
- д) выводы.

В целом R.720 был оценен как важный и полезный документ для текущей и будущей работы. Комитет одобрил его публикацию после внесения всех исправлений и включения глоссария в виде списка терминов и их определений. На наш взгляд, документ R.720 можно принять в качестве основы для использования при планировании эпидемиологических исследований, а также при конкурсной оценке научно-исследовательских работ.

Документ R.721 «Эпидемиология изучения риска рака вследствие облучения населения с низкой мощностью дозы от естественных источников излучения, включая научный анализ Комитетом фактора эффективности дозы и мощности дозы»

Документ представляет собой переработанный проект научного приложения, посвященного эпидемиологическим исследованиям по оценке риска рака, обусловленного облучением с малой мощностью дозы от источников в окружающей среде. В настоящем документе, как и в предыдущем варианте, были представлены данные по эпидемиологическим исследованиям следующих когорт, разделенных по воздействию от техногенных и природных источников (далее пункты а) и б) – техногенные, а остальные – природные источники):

- а) население побережья реки Течи, загрязненной радиоактивными отходами ПО «Маяк» в 1949–1956 гг.;
- б) жители зданий на Тайване, загрязненных ^{60}Co в результате попадания источника в металлоконструкции на металлургическом заводе;
- в) проживающие на территориях с повышенным естественным радиационным фоном в Индии (штат Керала), в Китае (провинция Yangjiang), в Бразилии (регион Guarapari) и Иране (штат Ramsar);
- г) детские раки и лейкозы в зависимости от уровня естественного радиационного фона по разным регионам.

В целом авторы документа постарались унифицировать данные для конкретных когорт в единой тематической форме, представив материал в рамках следующих обязательных разделов/подразделов: тип и источники воздействия, характеристика когорты, период наблюдения (follow-up), дозиметрия (внешняя, внутренняя), биологическая дозиметрия и, наконец, собственно, частота случаев рака/лейкозов (смертности от рака/лейкозов).

Документ, как и прежние варианты, включает источники весьма неоднородные и по качеству эпидемиологических подходов, и по дозиметрии. За исключением когорты реки Течи (КРТ), для остальных исследуемых групп дозиметрия оставляет желать лучшего. В процессе обсуждения было решено изъять также некоторые графики по увеличению частоты смертности от раков для КРТ, поскольку, по мнению некоторых членов сессии НКДАР ООН, отсутствует какая-либо зависимость, описывающая имеющиеся «экспериментальные» (эпидемиологические) точки. Данное утверждение является спорным. Изъятие графиков, а также ряда данных, сузило информационные и аналитические масштабы документа и, судя по всему, несколько снизило его целевое значение.

В документе сравниваются риски раков и лейкозов от хронического и пролонгированного воздействия с рисками для японской когорты LSS (острое облучение). Указывается, однако, что сравнение затруднено вследствие методологических различий, разных неопределенностей и различных показателей сравниваемых когорт. Серьезным фактором является также разная фоновая частота рака для Японии (когорта LSS), Индии (проживающие при повышенном естественном фоне), Китая (то же) и России (когорта реки Течи). Причем фоновая частота могла сильно измениться в динамике с 1950-х гг. по настоящее время.

В заключении указывается, что для когорты реки Течи выявлена зависимость доза–эффект по рискам рака и лейкоза, чего не показано для когорт, проживающих при повышенном естественном радиационном фоне в Индии и Китае. Следует отметить, что суммарные накопленные дозы, особенно на красный костный мозг, на реке Тече были значительно выше. Для детских лейкозов, кроме данных по Франции, имеются хорошие схождения оценок избыточного относительного риска (ERR) на единицу дозы при воздействии малых доз. Однако их сравнение с рисками острого воздействия в LSS из-за широких доверительных интервалов затруднено. В целом, отмечено, что «результаты исследований риска рака после облучения в малых дозах от источников окружающей среды не дают существенно меньших рисков на единицу дозы, чем исследования соответствующих эффектов высоких доз». Данное положение поддерживает позицию многих членов НКДАР ООН о необходимости отмены фактора DDREF [1, 2]. Однако полностью согласиться с подобным выводом нельзя, учитывая имеющиеся радиобиологические закономерности [3].

Приложение к документу R.721: рабочий материал R.721 (WM) по фактору эффективности дозы и мощности дозы

Термин DDREF был введен НКДАР ООН в 1993 г. с целью оценить риски облучения в малой дозе и при низкой мощности дозы излучений с низкой ЛПЭ. DDREF определяется как уменьшение эффекта на единицу дозы при малых дозах и малых мощностях дозы

по сравнению с высокими дозами и высокими мощностями доз. Следует отметить, что в то время НКДАР ООН определял малую дозу как 200 мГр и менее (ныне – до 100 мГр, как и МКРЗ, NCRP и BEIR) и малую мощность дозы как 0,1 мГр/мин (но для воздействия в течение не более чем одного часа).

Поскольку основной практический интерес был обращен на риск облучения в области малых доз и малых мощностей доз, а таких данных по человеку не было, предполагалось с помощью DDREF экстраполировать риск на область малых доз на основе эпидемиологических данных, полученных при воздействии высоких доз и при высоких мощностях доз. В настоящем R.721(WM) указано, что «количественные свидетельства о радиационных эффектах для малых доз и малых мощностей доз продолжают быть недоступными». Это утверждение представляется не совсем точным в свете данных, рассматриваемых самим НКДАР ООН в своих документах R.721, R.722 и R.725.

Концепция, сходная с DDREF, используется и другими организациями (ICRP, NCRP, BEIR, United States Nuclear Regulatory Commission и др.), но в иных определениях и с несколько иными целями. МКРЗ рекомендовала использование DDREF, определяя его как «оценочный фактор, который обычно показывает более низкую биологическую эффективность (на единицу дозы) облучения в малых дозах и при малых мощностях доз по сравнению с высокими соответствующими показателями экспозиций». МКРЗ продолжает использовать концепцию DDREF для радиационной защиты, указывая, что большинство возможных кривых доза–эффект являются линейно-квадратичными, причем «линейный коэффициент при малых дозах и мощностях получен из оценок для высоких доз и высоких мощностей доз делением на DDREF=2».

В других концепциях используют *фактор эффективности мощности дозы* (DREF) (NCRP использует аналогичное понятие «затягивающий фактор» (protraction factor), что предпочтительнее, чем DREF, когда воздействие идет на протяжении жизни, а также *фактор переоценки линейной экстраполяции* (linear extrapolation overestimation factor – LEOF и low dose extrapolation factor – LDEF).

В документе R.721(WM) подчеркивается, что целью этих организаций является применение фактора редукции в основном для практических целей радиационной защиты, что не входит в компетенцию НКДАР ООН, поэтому практическое использование концепции фактора редукции (DDREF) в документе R.721(WM) не рассматривалось.

Когда концепция DDREF была принята НКДАР в 1993 [4], Комитет основывал оценки риска на ряде предположений и допущений, включающих следующие пункты:

- а) Радиация индуцирует специфические изменения в генетическом коде клеток как при повреждении ДНК от трека частицы, так и при взаимодействии событий от множества подобных треков.

- б) Вероятность этих событий может быть выражена в двух параметрах: один пропорционален дозе, а другой – квадрату дозы.
- в) При воздействии в малых дозах и при малых мощностях доз, равно как и при облучении в больших дозах, но с малой мощностью дозы, актуален только параметр линейной пропорциональности дозы.
- г) При облучении в больших дозах с высокими мощностями доз важны оба параметра.
- д) Для плотно-ионизирующего излучения имеется меньше треков, но они более высокоэнергетичны на единицу дозы, причем каждый такой трек с большей вероятностью продуцирует нерепарируемые повреждения генома, чем трек редко-ионизирующей частицы.
- е) При всех дозах и при всех мощностях доз зависимость доза–эффект все же, наиболее вероятно, пропорциональна дозе, то есть линейна.

На основе этих предположений был принят используемый до настоящего времени подход к оценке риска, который предусматривает линейную зависимость от дозы. Подобная зависимость риска актуальна до верхней границы малых доз, в то время как квадратичный член увеличивает оценку риска для облучения в высоких дозах и с высокой мощностью дозы. Величина фактора уменьшения наклона кривой для малых доз может быть определена из некоторых радиобиологических экспериментов. Этот фактор и был оценен (с существенной неопределенностью) как величина, примерно равная 2, для диапазона доз, важных для большинства эпидемиологических исследований.

В более поздний период [5] был представлен всеобъемлющий обзор эпидемиологических исследований воздействия радиации на здоровье, включая обсуждение DDREF, который в зависимости от рассматриваемого эффекта мог варьировать от 2 до 10, хотя большинство значений составляло 2–3. Но уже в 2006 г. НКДАР не считало необходимым использовать DDREF для оценок риска. Указывалось, что «оценки риска косвенно приспособляются для экстраполяции к малым дозам, чтобы не требовать дополнительного применения DDREF. Линейно-квадратичная модель используется непосредственно для экстраполяции при оценке рисков малых доз, и, поэтому, коэффициент эффективности дозы и мощности дозы не применяется».

Факты, приводящие к необходимости пересмотра использования DDREF, лежат, согласно документу R.721(WM), в областях статистического анализа, радиационной эпидемиологии и радиобиологии. Уже в 1996 г. Комитет описал ряд так называемых немишеных эффектов [6]. «Белая книга» НКДАР ООН за 2012 г. [7] содержит обзор биологических механизмов радиационных воздействий при малых дозах и мощностях доз, и продолжение на данном плане аналитических оценок эффектов облучения, начиная от молекулярно-клеточного до популяционного уровня.

В заключении НКДАР ООН пришел к выводу о том, что необходимо окончательно отказаться от использования DDREF в своих будущих оценках радиационного риска.

Следует отметить, что отход НКДАР ООН от концепции DDREF не представляется оправданным. То, что не может быть установлен точный фактор редукции (варьирующийся в зависимости от выбранного радиобиологического или эпидемиологического критерия-эффекта), совсем не означает, что он не существует, и что концепция «не научна, а служит только сугубо практическим целям радиационной защиты».

Документ R.722 «Некоторые оценки медицинских последствий и риска после радиационного воздействия»

В представленном документе подчеркивается, что оценка радиационных рисков в рамках выполненных эпидемиологических исследований должна отвечать следующим основным критериям: важность для принятия практических решений по минимизации последствий для населения, учет возможных факторов неопределенности, наличие опубликованных в последнее время научных исследований по выбранной теме.

Предполагается рассматривать сценарии радиационного воздействия с учетом возможных оценок радиационных рисков при малых дозах, влияние факторов неопределенности на оценку радиационных рисков, возможность применения основных эпидемиологических заключений для различных сценариев облучения.

Оценка радиационных рисков рассматривалась по следующим основным направлениям: риск лейкозов среди детей при малых (10–100 мЗв) дозах; лейкозы и солидные раки среди взрослых при малых и средних дозах (30–300 мЗв); рак щитовидной железы при дозах облучения до 500 мГр среди детей и подростков; риск заболеваний системы кровообращения при остром облучении всего тела при дозах до 1 Гр.

Большая дискуссия имела место по проблеме оценки радиационных рисков рака щитовидной железы после аварии на АЭС Фукусима. Была подчеркнута важность проведенной в 2016 г. специальной международной конференции по этому вопросу в Японии, материалы которой в настоящее время опубликованы. В частности, обсуждался вопрос о роли скринингового эффекта после аварии на Чернобыльской АЭС и возможности применения этих данных в оценке аварии на АЭС Фукусима. Подчеркнуто, что скрининговый эффект, оцененный после аварии на Чернобыльской АЭС, увеличивал регистрацию раков щитовидной железы среди детского населения в 15–20 раз. Эти данные имеют первостепенное значение для оценки радиологических последствий аварии на АЭС Фукусима.

Значительное внимание в документе R.722 было уделено проблеме оценки радиационных рисков заболеваний системы кровообращения. Отмечается, что кроме эпидемиологических исследований в Хироси-

ме–Нагасаки (когорта включает 86 611 человек, избыточный относительный риск $0,11 \text{ Гр}^{-1}$) по данной проблеме в последние годы были опубликованы результаты важных исследований. Существенное место среди них занимают эпидемиологические исследования в Российской Федерации, выполненные в когорте участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (53 772 человека). Впервые было установлено, что частота заболеваний системы кровообращения статистически значимо возрастает при дозах облучения более 150 мГр , полученных за период времени до 6 недель. В документе подчеркивается высокая степень неопределенности при оценке радиационных рисков (избыточный относительный риск, избыточный абсолютный риск) заболеваний системы кровообращения.

Текущий документ R.722 не включает раздела «Заключения и рекомендации». Было принято решение подготовить эти разделы документа к 65-й сессии НКДАР ООН в 2018 г.

Документ R.723 «Исследования после издания отчета НКДАР 2013 г. по уровням и эффектам облучения в результате радиационной аварии после землетрясения и цунами в Восточной Японии. Обзор изданной в 2016 г. литературы, включая оценку данных о раке щитовидной железы в регионах, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС»

В представленном для обсуждения на сессии документе обобщены и проанализированы опубликованные в 2016 г. новые данные по уровням и эффектам облучения в результате радиационной аварии после землетрясения и цунами в Восточной Японии. Документ включает оценку новых данных о поступлении радионуклидов в окружающую среду с выбросами и сбросами, анализ новых данных о миграции радионуклидов в наземных и водных экосистемах, уточнение оценок по уровням облучения населения и персонала, новые исследования по влиянию аварии на здоровье персонала АЭС и населения Японии, оценки радиационного воздействия на биоту в районе расположения АЭС Фукусима. По каждому разделу представлен детальный обзор вышедших в 2016 г. публикаций и обсуждено влияние новых данных на оценки и выводы НКДАР ООН, сделанные в отчете 2013 г.

Новые данные о поступлении радионуклидов в атмосферу с выбросами и сбросами были представлены в 28 публикациях. Показано, что неопределенности в оценке химической формы радионуклидов больше влияют на результаты исследований распространения радионуклидов в окружающей среде, чем размер частиц. В целом, рецензируемые публикации свидетельствуют о прогрессе в понимании процессов поступления радионуклидов в атмосферу, включая роль размера частиц, а также вклада других радионуклидов

помимо йода и цезия. Представленная в документе информация позволила улучшить оценки уровня радионуклидов в воздухе и механизмов их осаждения на землю. Новые данные о поступлении радионуклидов в воду с выбросами и сбросами были представлены в 7 публикациях, что улучшило наше понимание процессов, связанных с распространением радионуклидов в морской среде.

Данные о миграции радионуклидов в наземных и водных экосистемах представлены в 32 публикациях. Была получена новая информация о количественных параметрах миграции радионуклидов в цепочке «почва – растение – продукты питания» в специфических условиях Японии, что позволило существенно уточнить оценки внутреннего облучения населения и относительный вклад разных продуктов питания в дозу облучения населения. Например, вклад продуктов животноводства в дозу облучения населения в отчете 2013 г. был завышен в связи с предположением, что часть животных выпасалась на лугах. На самом деле все сельскохозяйственные животные в Японии находятся на стойловом содержании. Показано, что концентрация цезия в продуктах питания снижается быстрее по сравнению с его концентрациями в диких съедобных растениях, грибах и животных. Однако влияние этих изменений на оценку дозы будет небольшим вследствие имеющих место ограничений на потребление продуктов питания из зоны аварии. Следует также иметь в виду, что в условиях аварии на АЭС Фукусима доза внутреннего облучения крайне мала по сравнению с вкладом внешнего облучения.

Представленные в 11 публикациях данные о дозах облучения населения в целом подтверждают основные выводы, сделанные в отчете 2013 г. Отмечен прогресс в ретроспективной оценке доз внутреннего облучения в первый период аварии, особенно в отношении облучения детей радиоактивным йодом. При обсуждении этих данных с участием российской делегации было подчеркнуто, что представленные в отчете 2013 г. оценки доз облучения щитовидной железы были завышены вследствие переоценки поступления радиоактивного йода с продуктами питания.

Новые данные об облучении персонала представлены в трех публикациях. К сожалению, не было получено новых данных о влиянии облучения на частоту образования катаракты, которые представляют несомненный интерес.

Новые данные о медицинских последствиях облучения представлены в 20 публикациях. Представленные в этих публикациях данные подтверждают основные выводы, сделанные в отчете 2013 г.

Новые данные о дозах облучения и эффектах у растений и животных, населяющих загрязненную радионуклидами территорию, представлены в 21 публикации. Данные о концентрациях радионуклидов в растениях и животных будут полезны для уточнения параметров моделей по оценке доз, полученных растениями и животными в результате аварии. Была отме-

чена публикация В. Йощенко и др. [8] о существенном увеличении частоты морфологических аномалий на молодых деревьях японской красной сосны. Эти данные находятся в хорошем соответствии с ранее опубликованной информацией об аналогичных эффектах у молодых деревьев японской ели [9] и у хвойных деревьев в чернобыльской зоне. В публикации Т. Хоригучи и др. [10] представлены данные, свидетельствующие о существенном снижении биоразнообразия прибрежных организмов в районах воздействия цунами и выбросов АЭС Фукусима. Однако в этой работе не были оценены дозы на прибрежную биоту и не в полной мере учтено влияние сопутствующих нерадиационных факторов, что снижает ее ценность. Отмечена острая необходимость дополнительных мультидисциплинарных исследований по анализу воздействия ионизирующих излучений на популяции и экосистемы.

В целом, делегаты 64-й сессии отметили высокое научное качество представленного отчета R.723 и одобрили его публикацию в виде «белой книги». Была подчеркнута важность широкого международного сотрудничества при анализе последствий аварии на АЭС Фукусима. Следует отметить, что, поскольку в документе R.723 рассматривались только новые данные, представленные в публикациях 2016 г., многие важные вопросы, касающиеся оценки последствий аварии на АЭС Фукусима, не нашли в ней должного отражения. После обсуждения на сессии было принято решение отказаться от ежегодной подготовки документов с анализом новой информации и сконцентрироваться на подготовке документа, обобщающего уроки исследований медицинских и экологических последствий аварии на АЭС Фукусима, который предполагается подготовить к 10-летию аварии.

Документ R.723 также содержал раздел, посвященный оценке данных о раке щитовидной железы в регионах, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Информацию для этого раздела предоставили Белоруссия, Россия и Украина. В обсуждении документа активное участие приняла делегация России. Был отмечен высокий научный уровень документа и важное значение представленных в нем данных для оценки последствий крупных радиационных аварий, в том числе аварии на АЭС Фукусима. Ввиду высокой научной и практической значимости документа на сессии было принято решение опубликовать его в виде отдельной «белой книги».

Документ R724 «Облучение пациентов»

Обсуждение данного промежуточного отчета проходило по пяти разделам: 1) ревизия опросников НКДАР ООН, 2) сотрудничество с международными и межгосударственными организациями, 3) использование баз данных, доступных через Интернет, 4) формирование международных групп экспертов и 5) формирование группы специалистов, которые официально

назначены контактными лицами от своих стран по сбору и представлению информации в НКДАР ООН.

Необходимо отметить, что секретариат НКДАР ООН констатирует крайне низкий уровень представления запрошенной информации от стран. Так, на опросник по медицинскому облучению населения данные (их качество весьма различно и спектр представленных медицинских данных также сильно различается) представили 29 стран. Из 27 стран – членов НКДАР ООН данные по медицинскому облучению населения не представили 13 стран, в том числе и Российская Федерация. Только три страны представили данные по облучению персонала. Российская Федерация данные пока не представила. Секретариат проинформировал, что сформированы международные группы экспертов по медицинскому облучению и по облучению персонала.

Секретариат считает, что одной из причин низкого отклика на запросы о предоставлении информации являются слишком подробные вопросники, в которых запрашивается чрезмерный объем информации, которая обычно не собирается. Поэтому секретариат планирует подготовить облегченные вопросники и собрать с использованием новых вопросников информацию по медицинскому облучению к июню 2018 г., а по облучению персонала – к октябрю 2017 г.

Секретариат обращает внимание, что к настоящему времени уже 60 стран направили официальное представление о назначении в своих странах контактных лиц по сбору и представлению информации об облучении населения и персонала от различных источников излучения (медицинское облучение населения, облучение персонала и населения от природного радиационного фона и техногенных источников излучения) в НКДАР ООН.

Документ R.725 «Облучение работников ионизирующей радиацией»

С 1975 г. НКДАР ООН проводит работу по оценке облучения профессионалов (последний отчет опубликован в 2008 г.). Принято решение обновить этот документ. Цели проекта заключаются в решении следующих научных вопросов:

а) оценить годовую и накопленную дозы внешнего облучения (средняя доза и распределения доз) для каждого из основных типов производств, связанных с облучением работников ионизирующей радиацией;

б) оценить годовую коллективную дозу для каждого из основных типов производств, связанных с облучением работников ионизирующей радиацией (с указанием вклада облучения на единицу произведенной продукции);

в) проанализировать временные тренды доз облучения работников, чтобы оценить эффекты изменений в регулировании (например, изменений пределов дозы или повышенного внимания к оптимизации защиты),

внедрения новых технологических разработок и усовершенствования методов работы;

г) сравнить уровни облучения работников в разных странах и оценить уровни облучения для каждого из основных типов производств, связанных с облучением работников ионизирующей радиацией.

Оценки, проводимые Комитетом, основаны на данных сбора информации о воздействии ионизирующей радиации, которые представляются государствами – членами ООН через онлайн-платформу НКДАР ООН и дополняются литературными данными.

Оценки Комитета зависят от географического покрытия, репрезентативности и качества данных, полученных от государств-членов ООН. В случае недостаточного покрытия данными применялись допущения и экстраполяция имеющихся данных. В отчете Комитета за 2008 г. отмечалось, что в секторах деятельности, не связанных с ядерным топливным циклом, экстраполяция основывалась на данных лишь от немногих государств. Таким образом, оценки уровней общемирового профессионального облучения для данных секторов деятельности особенно недостоверны.

Для решения этих задач Секретариатом НКДАР была создана рабочая группа экспертов, заседания которой проходили в режиме телеконференций. Рабочей группой собрана база данных публикаций в рецензируемых научных изданиях (531 источник с 2003 по 2016 гг.) по 8 подгруппам профессиональных работников: промышленность, медицина, военное дело, авиация (облучение от природных источников), шахтеры, нефтяники, газовики (облучение от природных источников), облучение от радона (природный источник), ядерно-топливный цикл, разное.

По сравнению с предыдущим отчетом обновлены две методики оценки профессионального облучения – для предприятий ядерного топливного цикла и для иных ситуаций облучения.

Обзор уровней облучения применительно к промышленному ядерному топливному циклу является более полным по сравнению с описанием иных ситуаций радиационного воздействия. Кроме того, доступна общемировая статистика по мощностям и производству на различных этапах ядерного топливного цикла за исключением переработки топлива.

Что касается профессионального облучения, не связанного с работой ядерного топливного цикла, данные о деятельности и ее распределении в государствах на общемировом уровне не доступны. В этом случае приходится применять более простой и, неизбежно, менее надежный метод экстраполяции. До настоящего времени в Комитете применялся подход, основанный на валовом внутреннем продукте (ВВП).

Вместе с тем, исходя из отчета Комитета за 2008 г., очевидно, что методика, основанная на ВВП, может не вполне быть пригодна для экстраполяции уровня профессионального радиационного облучения в отдельных странах и при расчете общемировой коллективной дозы. Уровень радиационного облучения, ожи-

даемо, напрямую зависит от принципов радиационной защиты, применяемых в каждой конкретной стране. Из этого следует, что ВВП не может служить подходящим показателем совершенствования радиационной защиты.

Экспертная группа по профессиональному облучению (ЭГПО) выработала стратегию для усовершенствования методики Комитета и получению новых экстраполированных данных по общемировому уровню профессионального облучения, включая определение соответствующих неопределенностей. ЭГПО предложила использовать двухшаговую стратегию оценки коллективной эффективной дозы в каждом государстве. Это позволит получить коллективные дозовые оценки для каждой отдельной страны, которые в сумме дадут общемировую оценку. По данной стратегии будет рассчитана средняя эффективная доза на сектор, а также количество работников в каждом секторе для стран, не представивших данные.

Важно отметить, что сама по себе новая методика хотя и является серьезным шагом вперед, все же не может существенно повысить достоверность экстраполяции. Очевидно, что данные, которые будут собраны НКДАР ООН в ходе исследования профессионального облучения, могут стать основой для усовершенствования оценок общемирового уровня профессионального облучения. В ходе предыдущего исследования профессионального облучения НКДАР ООН в 2008 г. процент ответа на запросы среди государств участников ООН составил около 22 %, что в целом по миру составляет лишь 10 % от общего количества работников, подвергающихся профессиональному облучению. Таким образом, необходимы дальнейшие действия для получения информации высокого качества с хорошей репрезентативностью и достоверными числовыми данными.

Запланировано подготовить всю необходимую информацию к следующей сессии и опубликовать доклад в конце 2018 г.

Документ R726 «Рак легкого при воздействии радона и проникающей радиации»

Цель проекта оценить научную обоснованность увеличения частоты рака легких для курящих и некурящих, а также для подгрупп разного пола и возраста вследствие ингаляции радона и торона, а также дать количественную оценку научной состоятельности риска. Также предполагалось решить, следует ли проводить оценки дозы облучения от ингаляции радона с использованием дозовых коэффициентов или с использованием имеющихся эпидемиологических данных и каковы неопределенности, связанные с этими двумя подходами? Каким образом следует оценивать конкретные численные значения коэффициентов дозового преобразования при оценках воздействия ингаляции радона и торона на население и персонал?

Для решения этих задач Секретариатом НКДАР была создана рабочая группа под председательством П. Странда (Норвегия). Была собрана база данных (более 400 публикаций) в рецензируемых научных изданиях по исследуемой проблеме, проведен анализ документов международных организаций, таких как МКРЗ, МКРЕ и ВОЗ. Анализируемые публикации ограничены вопросами внутреннего облучения при ингаляции радона и торона с учетом оценок дозы (и внешнего воздействия источников ионизирующего излучения для сравнения). Основное внимание было уделено дозиметрическому анализу и эпидемиологическим исследованиям, направленным на изучение вероятности возникновения рака легких.

В результате обсуждения были обозначены следующие проблемные аспекты. Для многих стран, в том числе и для Российской Федерации, существует потребность в высококачественной метрологической поддержке измерений радона. Необходимо разработать систему обеспечения единства измерений активности радона.

Для решения проблемы несоответствия между двумя подходами к оценке дозы необходимо провести научно обоснованную оценку количественных значений факторов дозовой конверсии, а также получить достоверные данные об оценках риска возникновения рака легких, связанные с экспозицией радона в помещениях у женщин. В публикации МКРЗ 126 [11] значение фактора дозовой конверсии (DCF) составляет 12 мЗв/WLM, которое и было рекомендовано для большинства ситуаций воздействия радона. Данное значение в 2 раза превышает рекомендованное НКДАР ООН значение и в 2,5 раза выше значения, рекомендованного в публикации МКРЗ 65 [12]. В результате на многих рабочих местах (например, секретарь, библиотекарь и т. д.) ежегодная доза облучения может превышать значение 6 мЗв/год, рекомендованное базовыми нормами безопасности, что может создать практические и юридические проблемы, связанные с вопросами организации охраны труда. Кроме того, при использовании этого подхода существенно возрастут оценки уровней фонового уровня облучения населения, что может являться самостоятельной радиобиологической проблемой.

При расчете радиационного риска для воздействия радона с помощью мультипликативных моделей важную роль играет возрастная частота спонтанного развития рака легких. В результате радиационный риск для разных групп населения (курильщиков и некурящих, мужчин и женщин, молодых и старых и т. д.) варьируется на порядок и больше.

Современной актуальной проблемой, требующей изучения и получения дополнительных данных измерений, является рост концентраций радона в современных многоэтажных зданиях, где используются энергосберегающие технологии.

Документ R.727 «Биологические механизмы, влияющие на медико-биологические воздействия радиации в малых дозах»

Документ представляет собой первый вариант отчета, решение о подготовке которого было принято на 63-й сессии НКДАР ООН (2016). Текущий краткий документ (19 страниц) представляет собой предварительный план работы. В нем представлен подробный перечень вопросов для последующего систематического обзора; идентифицированы пункты, для которых Секретариат и экспертная группа нуждаются в указаниях Комитета, и определен план работ до 65-й сессии НКДАР ООН (2018).

Проект посвящен анализу биологических (молекулярно-клеточных) механизмов, которые могут лежать в основе стохастических эффектов облучения в малых дозах (раков, лейкозов). Цель проекта – отразить современное состояние знаний о биологических механизмах формирования эффектов облучения применительно к развитию патологий у человека, в особенности при воздействии в малых дозах и при малых мощностях доз, а также роль указанных механизмов в формировании зависимостей доза–эффект для канцерогенных эффектов.

Специфические задачи предусматривают поиск ответов на следующие вопросы:

- а) Для каких биологических механизмов имеются свидетельства связи с частотой радиобиологических эффектов для здоровья, включая воздействия в малых дозах и при малых мощностях доз? Каковы отличия этих механизмов при малых дозах по сравнению со средними дозами? Какие данные для этих механизмов дают возможность сформировать зависимости доза–эффект при малых дозах?
- б) Можно ли сделать заключение о различном влиянии механизмов на зависимость доза–эффект для медико-биологических последствий воздействия при малых дозах по сравнению со средними дозами?
- в) Имеется ли информации о взаимосвязи биологических процессов и механизмов с существующими эпидемиологическими данными по случаям заболеваний в облученной популяции?
- г) Существуют ли свидетельства тканевой вариации в механизмах ответа на облучение, которые отражают разную чувствительность тканей к индукции радиогенного рака?
- д) Есть ли реальные механизмы, которые могут быть ассоциированы с индукцией патологий, одинаково развивающихся после воздействия в малых и больших дозах?

В качестве основной задачи экспертная группа считает необходимым обобщить имеющиеся данные по биологическим механизмам облучения в малых дозах с обязательной оценкой их вклада в развитие канцерогенных эффектов, а также исследовать зависимость доза–эффект. Работа запланирована в трех одногодичных этапах.

В документе R.727 намечены рамки обзорных исследований. Будет использоваться только физическое количественное выражение дозы, а обзоры будут ограничиваться только облучением при малых (до 100 мГр) и средних (100–1000 мГр) дозах. Интересующими медико-биологическими эффектами названы раки, лейкозы и наследственные генетические эффекты (хотя в дискуссии на 64-й сессии НКДАР ООН последние предлагалось убрать).

За прошедший год экспертная группа выполнила ряд обзоров, качественных оценок и подготовку необходимых источников и документов. В качестве источника, ставящего наиболее приемлемые рамки для рассматривания механизмов канцерогенеза, в R.727 названа публикация [11]. В ней представлен взгляд на общие измененные фенотипы и характеристики для раков в целом. Соответствующие характеристики, которые прямо изменяются под действием радиации, приведены в документе R.727 на специальной диаграмме и включают: пролиферативный сигнал, подавление клеточного роста, изменение репликации, модификацию иммунного ответа, изменение уровня факторов воспаления, модуляцию ангиогенеза, изменение стабильности генома, увеличение клеточной гибели и влияние на биоэнергетику клетки. Следует сказать, что данная схема является упрощенной и недостаточно отражает возможные молекулярно-клеточные механизмы канцерогенеза.

В документе отмечается, что действие облучения, связанное с канцерогенезом, может вести к отсроченным и наследуемым эффектам на фенотипы и на иные характеристики организма. В качестве наиболее важных механизмов, приводящих к длительным изменениям в экспрессии генов, синтезе белков и клеточных функций, рассматриваются мишеные и немишеные эффекты для различных специфических раков или изменение тканевого микроокружения. Механизмами могут быть эпигенетические процессы, регулирующие генную экспрессию, вкупе с посттрансляционными модификациями белков. Намечено рассмотрение индукции малыми дозами облучения p53-зависимых путей, различных систем иммунитета и немишенных эффектов («эффект свидетеля» и др.).

В дискуссии было отмечено, что для малых доз редко-ионизирующей радиации до сих пор не было показано индукции нестабильности генома, если в опыт брались клетки и животные без дефектов в репарации ДНК и радиочувствительности (то есть, нормальные) [14, 15]. Предложено рассмотреть возможный порог для активации главных путей защиты от повреждений ДНК и действия на генетические изменения при малых дозах. В частности, будет уделено внимание возможному отсутствию индукции репарации при очень малых и малых дозах, вследствие недостижения критического уровня реактивных форм кислорода. Все это может модулировать частоту мутаций, индуцированных при малых дозах. Немаловажная роль отводится также новым механизмам, путем которых радиация приводит

к повреждениям хромосом, то есть к фрагментации ДНК, что преобразуется в стабильные генетические изменения, ведущие к раку. Исходя из радиобиологических экспериментов, предполагается провести анализ данных по возможным биомаркерам применительно к эффектам для человека. В целом, план работы характеризуется очень большим перечнем вопросов и проблем из областей молекулярной биологии, радиобиологии, генетики, иммунологии, тканевых и клеточных механизмов канцерогенеза. Вызывает некоторое сомнение реальность выполнения представленного плана в столь короткие сроки.

Организационные вопросы

Обсужден отчет о проведенных мероприятиях в рамках направления НКДАР «Реализация информации для общества и информационно-пропагандистской стратегии». Решено принять к сведению настоящий отчет и одобрить работу, проделанную Секретариатом по вопросам информации общественности и информационно-пропагандистской деятельности, а также работу по подготовке брошюры ЮНЕП «Радиация: воздействие и источники».

Научные оценки НКДАР используются правительствами и международными организациями для целей радиационной защиты, нормирования и принятия других решений применительно к радиации. Секретариат НКДАР выполняет функции программы ООН по окружающей среде (United Nations Environment Programme – UNEP), распространяя сведения НКДАР Генеральной ассамблее, научному сообществу и общественности. Особенное значение позиция НКДАР имела для предоставления авторитетной научной информации о радиологических последствиях аварий на атомных электростанциях в Чернобыле (1986 г.) и Фукусима (2011 г.).

Целями базовой стратегии информирования общественности и информационно-пропагандистской деятельности являются:

- оперативное предоставление актуальных, точных и необходимых материалов тем, кто в них нуждается, в форматах, соответствующих их потребностям;
- повышение осведомленности и углубление понимания новых результатов и их последствий, особенно через СМИ;
- готовность оперативно реагировать на основные текущие общественные запросы, касающиеся радиации, в частности, на вопросы СМИ;
- углубление понимания роли Комитета и его выводов о радиационном воздействии среди всех заинтересованных сторон, особенно лиц, принимающих решения, преподавателей и студентов, а также журналистов.

Другим элементом стратегии общественной информации и информационно-пропагандистской деятельности НКДАР ООН является разработка надлежащих информационно-пропагандистских продуктов:

веб-сайта НКДАР ООН, листовок и плакатов; информационных бюллетеней; вспомогательных продуктов и публикаций. В течение отчетного периода секретариатом были проведены различные мероприятия в ознаменование 60-й годовщины образования Комитета.

На заседаниях представителей начато обсуждение реорганизации НКДАР ООН. Предлагается вместо рабочих групп, которые активно функционируют преимущественно в сессионный период, создать постоянные рабочие группы (ПРГ). Постоянная рабочая группа (ПРГ) будет состоять из ученых, назначенных государствами-членами Комитета из состава своих делегаций, а также из приглашенных ученых тех государств, которые не являются членами Комитета. Решение по реорганизации Комитета будет приниматься на 65-й сессии НКДАР ООН.

Значительный интерес среди участников 64-й сессии вызвали презентации приглашенных специалистов из Японии относительно непрямых (нерадиационных) эффектов воздействия аварии на АЭС Фукусима на здоровье населения, в частности, социально-психологические аспекты аварии, воздействие на здоровье экстренной эвакуации населения и др.

Всего на 64-й сессии рассматривалось 5 новых заявок: «Вторичные раки после радиотерапии»; «Эпидемиологическое исследование рака и радиация», «Последствия аварии на Фукусима-1» (заявлено два аналогичных проекта от Японии и Германии) и исследование природного радиационного фона в Китае. Приоритетными были признаны первые два заявки, которые и были предварительно одобрены Комитетом. Судьба проекта по Фукусиме будет решаться на 65-й сессии НКДАР ООН в 2018 г. Китайский проект отложен на неопределенное время.

65-я сессия НКДАР ООН состоится с 23 по 27 апреля 2018 г. в Вене.

Заключение

С 29 мая по 2 июня 2017 г. в Вене прошла 64-я сессия НКДАР ООН, на которой были обсуждены 8 научных отчетов, программа будущих исследований и организационные вопросы деятельности Комитета. Научные отчеты обсуждались на рабочей группе и в подгруппах. В 2017 г. заканчивается работа над тремя отчетами. Принято решение о завершении работы над отчетами по оценке качества эпидемиологических исследований, эпидемиологии рака при облучении с низкой мощностью дозы и по результатам наблюдений после аварии на АЭС Фукусима.

Приняты для исполнения заявки Франции по вторичным ракам после радиотерапии и США по эпидемиологии рака (проект предложено переделать с учетом принятых на 64-й сессии документов). Решение о создании Постоянно действующих рабочих групп отложено до 65-й сессии НКДАР ООН в апреле 2018 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gonzales A.J. The dose and dose-rate efficiency factor (DDREF): unneeded, controversial and epidemiologically questionable // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2017. Т. 62. № 2. С. 12–27.
2. Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. Радиобиология человека и животных: Учеб. пособие. – М.: Высшая школа. 2004. 549 с.
3. Kendall G.M., Little M.P., Wakeford R. et al. A record based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980–2006 // Leukemia. 2013. Vol. 27. № 1. P. 3–9.
4. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A. Epidemiological studies of radiation and cancer. – New York: United Nations, 2008. P. 17–322.
5. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex C. Non-targeted and delayed effects of exposure to ionizing radiation. – New York: United Nations, 2009. P. 1–79.
6. UNSCEAR 2012. A White Paper to Guide the Scientific Committee's Future Programme of Work. Biological mechanism of radiation actions at low doses. – New York: United Nations, 2012. 35 pp.
7. Blettner M., Sauerbrei W., Schlehofer B. et al. Traditional reviews, meta-analyses and pooled analyses in epidemiology // Int. J. Epidemiol. 1999. Vol. 28. № 1. P. 1–9.
8. Yoschenko V., Nanba K., Yoshida S. et al. Morphological abnormalities in Japanese red pine (*Pinus densiflora*) at the territories contaminated as a result of the accident at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant // J. Environ. Radioact. 2016. Vol. 165. P. 60–67.
9. Watanabe Y., Ichikawa S., Kubota M. et al. Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant // Sci. Rep. 2015; 5: 13232.
10. Horiguchi, T., Yoshii H., Mizuno S. et al. Decline in intertidal biota after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami and the Fukushima nuclear disaster: field observations // Sci. Rep. 2016; 6: 20416.
11. ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126 // Ann. ICRP 43(3).
12. ICRP, 1993. Protection against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65 // Ann. ICRP 23(2).
13. Hanahan D., Weinberg R.A. Hallmarks of cancer: the next generation // Cell. 2011. Vol. 144. № 5. P. 646–674.
14. Котеров А.Н., Вайнсон А.А. Биологические и медицинские эффекты излучения с низкой ЛПЭ для различных диапазонов доз // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2015. Т. 60. № 3. С. 5–31.
15. Dauer L.T., Brooks A.L., Hoel D.G. et al. Review and evaluation of updated research on the health effects associated with low-dose ionizing radiation // Radiat. Prot. Dosim. 2010. 140. № 2. P. 103–136.

DOI 10.12737/article_59f30bf2d97d38.88277766

Results of the 64th Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 29 May – 2 June, 2017)

V.V. Uyba¹, A.V. Akleyev^{2,3}, T.V. Azizova⁴, S.A. Geras'kin⁵, V.K. Ivanov⁶, D.F. Ilyasov⁷, L.A. Karpikova¹, A.N. Koterov⁸, A.I. Kryshev⁹, S.G. Mikheyenko¹⁰, S.A. Romanov⁴, V.Yu. Usoltsev¹⁰, S.M. Shinkarev⁸

1. Federal Medical and Biological Agency, Moscow. 2. Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Chelyabinsk. 3. Chelyabinsk State University, Chelyabinsk. 4. Southern Urals Biophysics Institute of Federal Medical and Biological Agency, Ozyorsk, Chelyabinsk Oblast. 5. Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk. 6. A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk. 7. Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow. 8. A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical and Biological Agency, Moscow. 9. Research and Production Association "Typhoon" of Roshdydromet, Obninsk. 10. State Atomic Energy Corporation "ROSATOM", Moscow

V.V. Uyba – Head of the Medical and Biological Agency (FMBA of Russia), Dr. Sc. Med., Prof.; A.V. Akleyev – Director of the Urals Research Center for Radiation Medicine, Dr. Sc. Med., Prof.; T.V. Azizova – Deputy Director of Southern Ural Biophysics Institute (SIBI), PhD Med.; S.A. Geras'kin – Head of Laboratory at Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Dr. Sc. Biol., Prof.; V.K. Ivanov – Deputy Director of A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Dr. Sc. Tech., Prof., Corr. Member of RAS; D.F. Ilyasov – Research worker of the Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAN), PhD Econ.; L.A. Karpikova – Head of International Department of FMBA of Russia; A.N. Koterov – Head of Laboratory of the A.I. Burnazyan Federal Medical and Biophysical Center (FMBC) of FMBA of Russia, Dr. Sc. Biol.; A.I. Kryshev – Head of Laboratory, Research and Production Association "Typhoon", Dr. Sc. Biol.; S.G. Mikheyenko – Section Head of State Atomic Energy Corporation "ROSATOM", S.A. Romanov – Director of Southern Ural Biophysics Institute (SUBI), PhD Biol.; V.Yu. Usoltsev – Chief specialist of the State Atomic Energy Corporation "ROSATOM"; S.M. Shinkarev – Head of Department of the A.I. Burnazyan Federal Medical and Biophysical Center (FMBC) of the FMBA of Russia, Dr. Sc. Tech.

Abstract

The present article is devoted to the main outcomes of the 64th UNSCEAR Session which took place in Vienna during 29 May – 2 June 2017. Within the framework of the meetings of the Working group and subgroups the documents on the following projects were discussed:

- Quality criteria for the Committee's reviews of epidemiological studies;
 - Epidemiological studies of cancer risk due to low dose-rate radiation from environmental sources including the scientific view of the Committee on the dose and dose rate effectiveness factor;
 - Biological mechanisms influencing health effects from low-dose radiation exposure;
 - Developments since the 2013 UNSCEAR report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great East-Japan earthquake and tsunami: review of 2016 scientific literature including an evaluation of thyroid cancer data in regions affected by the Chernobyl accident;
 - Exposure of patients to ionizing radiation;
 - Exposure of workers to ionizing radiation;
 - Selected evaluations of health effects and of risk inference due to radiation exposure;
- Lung cancer from exposure to radon and to penetrating radiation.

In course of the discussion some organizational issues such as preparation of UNSCEAR publications, feasibility of establishing Standing Working Groups, public relations work, future research program, report to the General Assembly etc., were considered.

Key words: 64-th UNSCEAR Session, low doses, biological effects, epidemiology, medical exposure, occupational exposure

REFERENCES

1. Gonzales A.J. The dose and dose-rate efficiency factor (DDREF): unneeded, controversial and epidemiologically questionable // Med. radiol. i radiat. besopasnost. 2017. Vol. 62. № 2. P. 12–27.
2. Yarmonenko S.P., Vinson A.A. Radiobiology of man and animals: Proc. allowance. – M.: Higher school, 2004. 549 p.
3. Kendall G.M., Little M.P., Wakeford R. et al. A record based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980–2006 // Leukemia. 2013. Vol. 27. № 1. P. 3–9.
4. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A. Epidemiological studies of radiation and cancer. – New York: United Nations, 2008, P. 17–322.
5. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex C. Non-targeted and delayed effects of exposure to ionizing radiation. – New York: United Nations, 2009, P. 1–79.
6. UNSCEAR 2012. A White Paper to Guide the Scientific Committee's Future Programme of Work. Biological mechanism of radiation actions at low doses. – New York: United Nations, 2012, 35 pp.
7. Blettner M., Sauerbrei W., Schlehofer B. et al. Traditional reviews, meta-analyses and pooled analyses in epidemiology // Int. J. Epidemiol. 1999. Vol. 28. № 1. P. 1–9.
8. Yoschenko V., Nanba K., Yoshida S. et al. Morphological abnormalities in Japanese red pine (*Pinus densiflora*) at the territories contaminated as a result of the accident at Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant // In: J Environ Radioact. 2016. Vol. 165. P. 60–67.
9. Watanabe Y., Ichikawa S., Kubota M. et al. Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant // Sci Rep. 2015; 5: 13232.
10. Horiguchi, T., Yoshii H., Mizuno S. et al. Decline in intertidal biota after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami and the Fukushima nuclear disaster: field observations // Sci. Rep. 2016; 6: 20416.
11. ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).
12. ICRP, 1993. Protection against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23(2).
13. Hanahan D., Weinberg R.A. Hallmarks of cancer: the next generation // Cell. 2011. Vol. 144. № 5. P. 646–674.
14. Koterov A.N., Wainson A.A. Health Effects of Low Let Radiation for Various Dose Ranges // Med. radiol. i radiat. besopasnost. 2015. Vol. 60. № 3. P. 5–31.
15. Dauer L.T., Brooks A.L., Hoel D.G. et al. Review and evaluation of updated research on the health effects associated with low-dose ionizing radiation // Radiat. Prot. Dosim. 2010. 140. № 2. P. 103–136.

К 70-ЛЕТИЮ П.К. КАЗЫМБЕТА

5 августа 2017 г. исполнилось 70 лет со дня рождения члена редакционного совета нашего журнала, директора Института радиобиологии и радиационной защиты АО «Медицинский университет Астана» Министерства здравоохранения Республики Казахстан, доктора медицинских наук, профессора Полата Казымбетовича Казымбета.

Полат Казымбетулы Казымбет является известным ученым-радиобиологом, который ведет активную деятельность по медицинскому обеспечению радиационной безопасности работников радиационно-опасных предприятия Казахстана.

П.К. Казымбет в 1969 г. окончил лечебный факультет Алма-Атинского государственного медицинского института (АГМИ), а в 1969–1972 гг. обучался в аспирантуре по рентгенологии и радиологии того же института. С 1972 по 1986 гг. работал научным сотрудником группы радиоизотопов ЦНИЛ АГМИ, а затем был приглашен в качестве докторанта в лабораторию радиобиологии Российского онкологического научно-го центра им. Н.Н. Блохина. В 1990 г. под руководством проф. С.П. Ярмоненко защитил докторскую диссертацию на тему «Фармакокинетическая защита нормальных тканей при экспериментальной лучевой терапии опухолей».

По возвращении на родину П.К. Казымбетом был создан Радиобиологический научный центр в Медицинском университете Астаны, который в 2010 г. был преобразован в Институт радиобиоло-

гии и радиационной защиты. Полат Казымбетович является Президентом общества радиобиологов Казахстана, членом Рабочей комиссии по радиационной безопасности и проблемам радиобиологии при Правительстве РК, в 2009 г. избран вице-президентом Азиатской ассоциации радиационных исследований, он стал экспертом МАГАТЭ в 2016 г. В августе 2017 г. П.К. Казымбет в качестве Президента блестяще провёл IV Международный азиатский конгресс по радиационным исследованиям, в организации и работе которого приняли участие ведущие специалисты из российских научных центров, включая руководство ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

П.К. Казымбет – автор 260 печатных работ, среди которых три монографии и два учебника. Под руководством профессора П.К. Казымбета защищены 13 кандидатских и 10 докторских диссертаций. Полат Казымбетулы является Отличником здравоохранения Республики Казахстан, имеет правительственные награды.

Редакционная коллегия журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность» поздравляет профессора П.К. Казымбета с замечательным юбилеем, желает ему хорошего здоровья и многих лет успешной научной деятельности.

Редакционная коллегия журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность»