

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО (ФМБА РОССИИ)

МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

MEDICAL RADIOLOGY AND RADIATION SAFETY

Meditsinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost

2014

Том 59

№ 1

Периодический научный журнал. Издается с сентября 1956 года

Журнал включен в перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов,
рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований

Москва

Медицинская радиология и радиационная безопасность Medical Radiology and Radiation Safety

Научный журнал

Scientific Journal

Издатель:

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации –
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна»
Федерального медико-биологического агентства

Главный редактор В.В. УЙБА

Заместитель главного редактора:
К.В. Котенко (оперативное руководство)

Редакционная коллегия (по рубрикам журнала):

Радиационная биология: А.А. Вайнсон (выпускающий редактор), П.К. Казымбет,
А.Н. Котеров

Радиационная безопасность: Р.М. Алексахин, С.С. Алексанин, Л.А. Ильин

Радиационная медицина: А.Ю. Бушманов, А.К. Гуськова, С.И. Иванов

Лучевая терапия: А.В. Бойко, С.И. Ткачев

Лучевая диагностика: И.Е. Тюрин

Ядерная медицина: Б.Я. Наркевич (научный редактор)

Радиационная эпидемиология: А.П. Бирюков, В.Ф. Демин, В.К. Иванов, Н.К. Шандала

Радиационная физика, техника и дозиметрия: Н.М. Борисов, И.А. Гусев, С.М. Шинкарев

Зарубежные связи: М.Ф. Киселев, В.В. Романов

Обзоры, краткие сообщения, письма в редакцию, дискуссии, хроника, юбилеи: ответственные
по соответствующим рубрикам

Помощь практическому врачу: А.Ю. Бушманов

Все статьи в журнале печатаются бесплатно

Заведующий редакцией Э.С. Зубенкова

Компьютерная верстка В.В. Колесниченко

Адрес редакции журнала:

123098, Москва, ул. Живописная, 46

Телефон: (499) 190-95-51

Address of Editorial Board:

46, Zhivopisnaya st., 123098, Moscow, Russia

Phone: +7 (499) 190-95-51

E-mail: medradiol@fromru.com

<http://fmbcfmba.org> далее раздел Публикации

Правила для авторов: Instructions for authors:

http://fmbcfmba.org/RadioJournal/prav_ofo.pdf

Подписано в печать 15.01.2014. Формат 60×88/8
Печать офсетная. 10,5 усл. печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
123098, Москва, ул. Живописная, 46

СОДЕРЖАНИЕ № 1 – 2014

РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ	5	История представлений о нестабильности генома при малых дозах радиации. Научная точка, вероятно, поставлена <i>А.Н. Котеров</i>
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	20	Загрязнение окружающей среды и продуктов питания радионуклидами и дозы облучения населения после аварии на АЭС Фукусима-1. Сообщение 2. Загрязнение продуктов питания, дозы облучения и ретроспективная дозиметрия <i>В.Ф. Степаненко, М. Хоши, А.Ф. Цыб</i>
РАДИАЦИОННАЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЯ	43	Учет дополнительных компонент доз облучения при радиационно-эпидемиологических исследованиях лиц, подвергшихся воздействию ионизирующей радиации <i>А.Р. Туков, А.П. Бирюков, И.Л. Шафранский</i>
ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА	50	Современные аспекты диагностики стриктур уретры <i>С.В. Маткевич, В.И. Дога, Е.А. Ионова, В.И. Голубчиков, П.С. Кызласов, Д.А. Мазуренко, Е.В. Берников</i>
ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ	57	Опыт проведения ускоренного частичного облучения молочной железы после органосохраняющих операций у больных ранним раком молочной железы <i>О.П. Трофимова, И.Ю. Кубасова, И.В. Колядина, С.И. Ткачев, Н.П. Шипилина, В.А. Хайленко, А.А. Маклакова, И.М. Лебедеенко</i>
РЕЦЕНЗИЯ	65	Рецензия на монографию Григорьева Ю.Г. и Григорьева О.А. «Сотовая связь и здоровье», 2013 <i>Л.А. Ильин</i>
ХРОНИКА	68	Отзыв на отчет МКРЗ по тканевым реакциям на действие ионизирующего излучения в контексте радиационной защиты (публикация 118 МКРЗ) <i>Л.М. Рождественский</i>
	71	Круглый стол Союза женщин России «Роль женщины в формировании позитивного отношения к ядерным технологиям в России» <i>А.К. Гуськова</i>
	73	V Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности на современном этапе»
ЮБИЛЕЙ	74	К 85-летию со дня рождения В.Л. Ивасенко
НЕКРОЛОГ	76	Памяти В.Л. Петрова
БИБЛИОГРАФИЯ	77	Правила оформления статей для опубликования в журнале «Медицинская радиология и радиационная безопасность» (на русском языке)
	81	Правила оформления статей для опубликования в журнале «Медицинская радиология и радиационная безопасность» (на английском языке)

CONTENTS № 1 – 2014

RADIATION BIOLOGY	5	History of the Conception of Genomic Instability at Low Dose of Radiation. The Scientific Point, Probably, is Put <i>A.N. Koterov</i>
RADIATION SAFETY	20	Environmental and Food Products Contamination by Radionuclides and Doses of Irradiation to Population Following Radiation Accident on Fukushima-1 NPP: Part 2. Contamination of Food Products, Doses of Irradiation and Retrospective Dosimetry <i>V.F. Stepanenko, M. Hoshi, <u>A.F. Tsyb</u></i>
RADIATION EPIDEMIOLOGY	43	Accounting for the Additional Components of Radiation Doses in Radiation-Epidemiological Studies of Persons Exposed to Ionizing Radiation <i>A.R. Turov, A.P. Birukov, I.L. Shafransky</i>
DIAGNOSTIC RADIOLOGY	50	Modern Aspects of Urethral Stricture Diagnostics <i>S.V. Matkevich, V.I. Doga, E.A. Ionova, V.I. Golubchikov, P.S. Kizlasov, D.A. Mazurenko, E.V. Bernikov</i>
RADIATION THERAPY	57	Experience of Accelerated Partial Breast Irradiation after Organ-Preserving Surgery in Patients with Early Breast Cancer in BRCC <i>O.P. Trofimova, I.Y. Kubasova, I.V. Kolyadina, S.I. Tkachev, N.P. Shipilina, V.A. Khajlenko, A.A. Maklakova, I.M. Lebedenko</i>
REVIEW	65	Book review on “Cellular Telecommunications and Health”, by Yu. G. Grigoriev and O.A. Grigoriev, 2013 <i>L. A. Ilyin</i>
CHRONICLE	68	ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context (ICRP Publication 118) <i>L.M. Rozhdestvenskiy</i>
	71	Round table of the Russian Women Union “The role of women in shaping positive attitudes to nuclear technology in Russia” <i>A.K. Guskova</i>
	73	The Fifth Scientific-practical Conference “Current Approaches for Provision of Radiation Safety”
JUBILEE	74	On 85th anniversary of V.L. Ivashenko
COMMEMORATION	76	Commemoration of V.L. Petrov
BIBLIOGRAPHY	77	Rules for Authors of Papers to be Published in Journal of Medical Radiology and Radiation Safety (Russian Language)
	81	Rules for Authors of Papers to be Published in Journal of Medical Radiology and Radiation Safety (English Language)

А.Н. Котеров**ИСТОРИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О НЕСТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА ПРИ МАЛЫХ ДОЗАХ РАДИАЦИИ. НАУЧНАЯ ТОЧКА, ВЕРОЯТНО, ПОСТАВЛЕНА****A.N. Koterov****History of the Conception of Genomic Instability at Low Dose of Radiation. The Scientific Point, Probably, is Put**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Почему проблема неустойчивости генома актуальна для радиационной эпидемиологии и радиационной безопасности?
2. Парадокс прошлых лет: утверждение о радиационно-индуцированной неустойчивости генома (РИНГ) при малых дозах радиации господствует в обзорах и на научных форумах, но не в экспериментальных работах.
3. Публикации автора по РИНГ при малых дозах радиации и их первичные последствия:
 - 3.1. «Международные» последствия.
 - 3.2. «Российские» последствия.
4. Трактат феномена РИНГ в документах международных организаций 2000-х гг.
5. Вероятный конец мифа о РИНГ при малых дозах радиации с низкой ЛПЭ (2012 г.)
6. Заключение.

Ключевые слова: радиационно-индуцированная неустойчивость генома, малые дозы радиации, редкоиницирующее излучение

CONTENT

1. Why the problem of genomic instability is important for radiation epidemiology and radiation safety?
2. Paradox of past years: the statement on radiation-induced genomic instability (RIGI) at low dose radiation dominates in the scientific reviews and forums, but not in experimental works.
3. The author's publications on RIGI at low dose radiation and their primary consequences:
 - 3.1. International consequences.
 - 3.2. "Russian" consequences.
4. Interpretation of RIGI phenomenon in documents of the International organizations of 2000th.
5. Likely end of the myth about RIGI at low dose radiation with low LET (2012).
6. Conclusion.

Key words: radiation-induced genomic instability, low dose radiation, low LET radiation

1. Почему проблема неустойчивости генома актуальна для радиационной эпидемиологии и радиационной безопасности?

Биологические явления не могут считаться эквивалентом клинических исходов, пока не получено прямого доказательства их взаимосвязи.

Флетчер Р. и соавт. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины [1].

Феномен радиационно-индуцированной неустойчивости генома (РИНГ) заключается в повышении вероятности возникновения непредсказуемых дефектов (выявляемых преимущественно как неклонируемые повреждения генома и хромосом) у потомков облученных клеток. Такие повреждения возникают и спонтанно, излучение просто увеличивает частоту их появления. Сущность РИНГ была неоднократно разобрана как в зарубежных [2–14], так и в отечественных [15–21] публикациях.

Главное, что всегда пытаются оттенить, это отсутствие у необлученных клеток-потомков тех повреждений, которые можно зарегистрировать у облученных прародителей. Все дефекты появляются как бы заново, ниоткуда, и «не у всех» [2–21]. Теоретически феномен может иметь место не только после воздействия *in vitro*, но и *in vivo*, поскольку организм состоит из пролиферирующих клеток. В результате спустя некоторое время (возможно, продолжительное) после облучения клетки в ряде тканей могут быть представлены по сути необлученными потомками подвергавшихся первоначальной экспозиции клеток-прародителей.

В настоящее время общепризнана генная теория канцерогенеза – инициация рака в единственной клетке в результате повреждений ДНК и комплекса мутаций в онкогенах и генах-супрессорах опухолей [2, 5, 22, 23]. Две другие теории (хромосомная [24] и эпигенетическая [22, 25]) являются более частными. РИНГ приводит, по определению, к повышен-

ной частоте мутирования, а это, как сказано, — основной механизм, обуславливающий накопление канцерогенных мутаций, реализующихся в риске онкогенной трансформации. Поэтому предполагают, что РИНГ — один из главных молекулярных механизмов радиационного канцерогенеза, в связи с чем значение этого феномена для эпидемиологии и радиационной безопасности сомнения не вызывает [2–6, 8, 10–14, 17–21].

Значимость РИНГ объясняется еще и тем, что для малых доз (до 0,1 Гр [26]) и, отчасти, для начала диапазона средних доз (средние дозы — 0,1–1 Гр [26]) радиации с низкой ЛПЭ попытки связать эффект инициации канцерогенеза с прямыми повреждениями¹ соответствующих генов-мишеней (онкогенов, генов-супрессоров опухолей и пр.), с образованием двунитевых разрывов и других труднорепарируемых, комплексных повреждений ДНК, терпят неудачу по вероятностным соображениям (низка вероятность поражения чувствительных генов-мишеней — вплоть до 10^{-18} и ниже при дозах менее 0,2 Гр [13, 20, 21, 27–29]). В этом плане РИНГ является спасительным «механизмом» для любых эпидемиологических выводов об облучении в каких угодно малых дозах. Индукция некоей общей нестабильности генома и непредсказуемое повышение частоты неизвестных мутаций/аббераций в неясное время после воздействия — удобное объяснение чего угодно (к примеру, нестабильностью генома объясняли инфаркты миокарда у украинских ликвидаторов [30]). Тем не менее, для средних² и высоких доз (свыше 1 Гр [26]) редкоизирующей радиации РИНГ может являться вполне реальным молекулярным механизмом реально выявляемого учащения раков и лейкозов [3–6, 13, 14, 19–21, 23].

В историческом плане термин «нестабильность генома» применительно к облучению можно найти уже во втором издании (1984) учебника по радиобиологии С.П. Ярмоненко³ [31]. Стоявшие же у истоков изучения этого феномена К. Мазерсилл (С. Mothersill) с соавторами (1986–1987 гг. [32, 33]) и

И.И. Пелевина с соавторами (1985–1986 гг. [34, 35])⁴, публиковали свои исследования, похоже, после выхода в свет учебника [31].

Выделяют несколько типов проявления РИНГ, теоретически возможной не только *in vitro*, но и *in vivo*. Главная проблема состоит в том, что в каждом случае надо доказывать появление поврежденных и эффектов *de novo*, т.е. у *необлученных* потомков облученных прародителей (клеток, животных, индивидуумов). Поэтому одни типы эффектов могут быть, вследствие адекватности метода, строго-доказательно отнесены к РИНГ, другие — только вероятно, с большой долей условности, а третьи — вовсе не могут быть однозначно отнесены к этому феномену. Типы проявления РИНГ следующие [3, 5, 6, 13, 20, 21, 36]:

- Доказанная РИНГ *in vitro* по различным проявлениям повреждений генома и по хромосомной нестабильности при облучении культур клеток.
- Модельная РИНГ *in vivo* — облучение *in vitro* с последующей трансплантацией так или иначе маркированных клеток животным и прослеживанием судьбы их генома или хромосом; подход ограничен и сильно подвержен артефактам.
- Доказанная РИНГ *in vivo* — трансгенерационная передача нестабильности генома (повреждения генома и хромосом у необлученных потомков облученных родителей). Это единственный подход *in vivo*, который дает адекватные результаты, поскольку в остальных случаях нельзя полностью исключить *клональное* воспроизведение повреждений генома из исходно облученной и поврежденной клетки-прародителя.
- Адекватная, вероятно, по выводам РИНГ при облучении *in utero* на ранних стадиях развития. Зигота, зародыш и плод очень чувствительны к весьма многим воздействиям в самых малых дозах [13, 19–21].
- Названная нами [13, 21] «псевдо-РИНГ *in vivo*» — повреждения генома и хромосом в клетках *ранее* облученных животных или индивидуумов. Критерием отнесения к феномену здесь служит только значительность промежутка времени между облучением и выходом повреждений. Но нельзя сбрасывать со счетов указанную выше возможную *клональность* повреждений, о чем говорят и другие авторы (включая гипотезу о длительно живущей субпопуляции лимфоцитов с повреж-

¹ Независимо от того, поражается ли мишень квантами излучения прямо или косвенно (активными формами кислорода и/или продуктами перекисного окисления липидов) [19, 21].

² Преимущественно от середины диапазона, т.е. от 0,3–0,5 Гр до 1 Гр.

³ «В последнее время такого рода последствия облучения обозначают термином «генетическая нестабильность» [31].

⁴ Похоже, что на просторах СНГ группа И.И. Пелевиной — это единственные исследователи, которые изучали действительно доказанную РИНГ *in vitro*, а не некие псевдофеномены, относимые к ней без оснований (за исключением отдельных работ по трансгенерационным генетическим эффектам у облученных грызунов) [13, 20, 21]. Во всяком случае, такая ситуация была до последнего времени [21].

денным геномом) [37–41]. Есть подобное предположение и в сообщениях НКДАР [42]. Для псевдо-РИНГ в плане частоты аберраций хромосом и, реже, генетических мутаций у когда-то облученных когорт в отечественных публикациях можно найти какие угодно дозовые зависимости (см. в [13, 20, 21, 36]), но отношение к подобным выводам, конечно, должно быть соответствующее⁵.

2. Парадокс прошлых лет: утверждение о РИНГ при малых дозах радиации господствует в обзорах и на научных форумах, но не в экспериментальных работах

Задача читателя заключается в том, чтобы суметь отличить новый взгляд на проблему от обычного отклонения от нормы. Правил здесь не существует. Когда ничто другое не помогает, приходится полагаться только на здравый смысл и хорошо развитый скептицизм.

Флетчер Р. и соавт. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины [1].

Автор настоящей публикации длительное время занимался анализом проблемы РИНГ применительно к величине доз, которые способны ее индуцировать в эксперименте или в обсервационных исследованиях. Феномен стал весьма шумевшим механизмом радиационного мутагенеза и канцерогенеза с середины – конца 1990-х гг. [7, 8, 15, 17, 28] (см. также доступную в Интернете монографию [21]).

В 2000–2005 гг. в Государственном научном центре – Институте биофизики Минздрава РФ выполнялась программа «Техногенное облучение и безопасность человека» (реализовавшаяся в 2006 г. в том числе в так называемую «Белую книгу» [43]). «Направление 2» в этой программе («Медико-биологическое обоснование безопасных уровней воздействия ионизирующих излучений») выполнялось В.С. Калистратовой, Л.М. Рождественским и автором настоящей статьи. Молекулярно-биологическая часть была преимущественно за последним; подход состоял в аналитическом исследовании наиболее актуальных в мировом плане молекулярных и клеточных механизмов мутагенеза применительно к радиационной безопасности.

⁵ В отличие от ранее названных работ И.И. Пелевиной с соавторами [15, 16, 34, 35], практически все известные нам другие авторы из СНГ, за исключением трансгенерационной РИНГ в опытах на грызунах и облучения *in utero*, имеют дело только с псевдо-РИНГ, хотя в своих публикациях (преимущественно для облученных или считающихся облученными когорт) называют выявленные эффекты именно «РИНГ» [13, 21].

«Модная» тогда в плане малых доз РИНГ привлекла внимание в первые же годы выполнения программы.

В исследованиях опубликованных источников, включая как обзоры, так и экспериментальные статьи, была обнаружена масса материала. Но, по мере изучения дозовых зависимостей в десятках и, потом, в сотнях источников, посвященных различным типам РИНГ, обнаруживался некий парадокс. С одной стороны, декларациями о том, что РИНГ индуцируется даже при самых малых дозах радиации с низкой ЛПЭ (малые дозы в то время – до 0,1–0,2 Гр [26]), и это является грозным феноменом, вызывающим (или промотирующим) канцерогенез, были полны все соответствующие обзоры и устные сообщения на форумах (подробно см. в [13, 20, 21, 44]). С другой стороны, анализ доз в конкретных публикациях показывал, что в подавляющем большинстве случаев это были большие, либо, реже, средние дозы для редкоизионизирующего излучения. Для малых же доз в тех работах, в которых эти дозы изучались, эффект обычно отсутствовал – РИНГ не индуцировалась (подробные сводки см. в [13, 19, 21, 44]). Весьма вероятно также, что многие исследователи, не получившие индукции РИНГ при малых дозах, просто не публиковали свои отрицательные данные. В эпидемиологии и медицине подобная ситуация называется «публикационное смещение» (bias). Публикационное смещение рассматривается как вредный фактор, затрудняющий формирование истинного представления об эпидемиологических и медико-биологических эффектах [1, 45].

В целом уже в наиболее ранних наших работах назывался дозовый порог для индукции РИНГ редкоизионизирующим излучением, который составляет порядка 0,5 Гр [13, 19–21, 36, 44, 46–48].

В начале выполнения названной программы по техногенному облучению (2001–2002 гг.) нами были обнаружены только считанные исключения с индукцией РИНГ при облучении в малых дозах. Все они касались изучения либо нестабильных линий клеток с дефектами в репарации ДНК и с аномальной радиочувствительностью, либо мышей линии BALB/c, для которой изначально характерна высокая нестабильность генома [13, 19–21, 36, 44]. За время с начала выполнения программы по техногенному облучению до выхода в свет соответствующей монографии автора (2010 г.) [21], число «исключений» с РИНГ при малых дозах радиации возросло с двух–трех [19, 46–48] до четырех–пяти [13, 20, 21, 36] объектов. Хотя в последние годы проблема дозовой зависимости для РИНГ уже потеряла, вероятно, свою актуальность (вопрос прояснился), надо все же добавить, что дополнительных данных по индукции РИНГ дозами до 0,1 Гр по видимости не

прибавляется, хотя прибавились отрицательные результаты подобного рода (ниже). И все это — на фоне сотен публикаций, посвященных РИНГ (к примеру, в нашем обзоре 2005 г. имелось 434 ссылки [13], а монография 2010 г. [21], основная часть которой посвящена РИНГ, включает уже 730 источников).

Следует сказать, что все упомянутые исключения с индукцией РИНГ при малых дозах радиации являлись только *кажущимися*, поскольку объекты, на которых эффект был получен, всегда оказывались аномальными, дефектными, исходно нестабильными и, как правило, радиочувствительными. Ибо, по нашим данным, это были *модельные* объекты для радиобиологических экспериментов, суть которых и направлена на то, чтобы выявлять слабо выявляемое на нормальных клетках и организмах [13, 20, 21, 36, 44].

Собственно говоря, к таким же выводам пришли и американские авторы Л. Дуган и Дж. Бедфорд (L.C. Dugan, J.S. Bedford), которые не смогли выявить РИНГ при облучении нормальных фибробластов. В их статье от 2003 г. имеются следующие утверждения [49]:

«Индукцированная облучением нестабильность хромосом выявлялась фактически в каждом случае, когда в качестве объекта были выбраны трансформированные, иммортализованные или опухолевые клетки, клетки с дефектами в репарации ДНК, либо клетки, полученные от индивидуумов с повышенной чувствительностью к радиационному канцерогенезу».

«...есть ряд работ, где сообщается о феномене [РИНГ] в по-видимому нормальных клетках..., когда не имелось явных артефактов или методических изъянов. Применительно к этому стоит рассмотреть, являются ли упомянутые «по видимости нормальные» клетки нормальными на самом деле».

Были и другие публикации начала 2000-х гг., в которых авторы не смогли выявить РИНГ, о чем и сообщали уже в заголовках статей [50, 51]. Таким образом, в некоторых случаях указанное выше «публикационное смещение» [1, 45] не сработало.

3. Публикации автора по РИНГ при малых дозах радиации и их первичные последствия

Ученые настолько ушли с головой каждый в свое, что они не видят ни одного явления в целом, включая собственные исследования.

Закон Мэрфи. Искусство научных исследований.

Итак, в начале и ближе к середине 2000-х гг. анализ сотен работ на предмет доз облучения, индуцирующих РИНГ, показал диссонанс между утверждениями о реальности феномена даже при малых дозах редко-ионизирующей радиации и отсутствием этой реальности в, так сказать, «реальности». Ортодоксальность же феномена при малых дозах была ясна с самого начала: этот молекулярный механизм был призван «объяснять» любые, в том числе и некорректно полученные эпидемиологические данные об учащении канцерогенеза и наследственных эффектов для облученных в сколь угодно малых дозах людей. В особенности — для когорт, связанных с аварией в Чернобыле (ликвидаторов, резидентов, эвакуированных, их детей и пр.).

Вопрос о неправомерности утверждения о РИНГ при малых дозах радиации поднимался нами уже в начале 2000-х гг. В частности — в виде устных обращений к соответствующим докладчикам еще на 4-м Съезде по радиационным исследованиям (Москва, 20–24 ноября 2001 г.). Но никакого эффекта это тогда не возымело. Была конъюнктура на действие малых доз, и соответствующие декларации продолжались. При этом декларирующие ссылались либо на обзоры друг друга, либо на пару названных выше исключений, либо ни на что не ссылались. (В наших более поздних работах [21, 36] частая некорректность ссылок на РИНГ после облучения в малых дозах в радиобиологических публикациях была рассмотрена специально.)

Ситуация казалась настолько аномальной, что был написан в относительно вольной форме «научный фельетон» под названием «Заклинания о нестабильности генома после облучения в малых дозах», где разбирался в том числе вопрос о реальных зависимостях «доза–эффект» для РИНГ. Благодаря пониманию важности проблемы и взвешенному научному мышлению академика РАМН Л.А. Ильина и профессора С.П. Ярмоненко, указанная работа была опубликована в 2004 г. сначала в «Медицинской радиологии и радиационной безопасности» [47] и, затем, в «Бюллетене по атомной энергии» [48].

3.1. «Международные» последствия

В упомянутой полемической статье [47, 48] при разборе рассуждений о якобы наличии РИНГ после облучения в малых дозах имелись ссылки на публикации профессора Ю.Е. Дубровы с кафедры генетики университета г. Лестер, Великобритания. Критика касалась его работ по генетической эпидемиологии — изучению трансгенерационной РИНГ по мутациям в минисателлитных повторах ДНК в семьях резидентов Чернобыля из Украины и Белоруссии и резидентов Семипалатинска из Казахстана. Выходило так, что

эти когорты Ю.Е. Дубровы с различными соавторами оказывались единственными когортами среди прочих известных (японской, потомков подвергавшихся лучевой терапии, детей ликвидаторов и пр.; исследователи иные), для которых были заявлены трансгенерационные эффекты облучения по мутациям в минисателлитных повторах (т.е. РИНГ). В том числе для резидентов Чернобыля, облученных, как утверждалось, в малых дозах (см. в [13, 20, 21, 47, 48, 52]). Но анализ публикаций Ю.Е. Дубровы с соавторами на указанную тему выявил ошибки в основах эпидемиологии, в том числе — отсутствие адекватного контроля. Так, автор использовал в качестве контроля для белорусской когорты — английскую, а для украинской — так называемый «исторический контроль», что является неадекватным подходом [1, 45]. Как указано в пособии по эпидемиологии В.В. Власова (2006), «структуры исследований с историческим и внешним контролем являются несовершенными. Обычно следующее испытание с параллельным контролем не подтверждает многообещающих результатов методически неправильного сравнения» [45].

Кроме того, во всех трех случаях (Белоруссия, Украина и Казахстан) говорить о *трансгенерационной* РИНГ вообще можно было только с большой осторожностью, ибо и родители, и дети проживали на одной и той же загрязненной территории (т.е. невозможно было исключить эффекты облучения *in utero*) [13, 20, 21, 47, 48, 52].

Здесь не место разбирать указанные недочеты, которые уже были разобраны ранее [13, 20, 21, 47, 48, 52]; скажем только, что первоначально все они были вскрыты в ряде публикаций радиационных генетиков [53–55], и, в конце концов, — в сообщении НКДАР по немишенным эффектам облучения (драфт от 2006 г. и конечная версия от 2009 г. [3]). Таким образом, никакой трансгенерационной РИНГ в работах Ю.Е. Дубровы с соавторами по генетической эпидемиологии на самом деле не было (тем более при малых дозах радиации), но ведущий автор широко рекламировал их как «первое доказательство наличия наследственных генетических эффектов облучения у людей» (ссылки см. в [52]).

Русскоязычный журнал «Медицинская радиология и радиационная безопасность» вряд ли широко доступен в Великобритании. Тем не менее какой-то «доброжелатель» послал туда Ю.Е. Дуброве плохо выполненный скан фельетона [47], и в результате появилась публикация Ю.Е. Дубровы от 2005 г. «Изгнание бесов из радиационной биологии» [56], прочитав которую профессор А.А. Иванов сказал автору представленной вам статьи: «Какой, однако, интересной жизнью вы живете».

Но «Ответ» [56] имел обратный эффект, поскольку написавший его допустил в нем ошибки и продемонстрировал путаницу разнообразного характера. На «Ответ» Ю.Е. Дубровы [56] в том же номере был опубликован наш, так сказать, «Ответ на ответ» [52], в котором с привлечением 58-ми ссылок и было все это разобрано. В частности, автор из Великобритании отрицал в своем «Ответе» [56], что в более ранних статьях неоднократно называл наследуемые мутации в минисателлитных повторах именно «РИНГ»; образно говоря, он «отрекся» от своей РИНГ.

Последними строками в нашем «Ответе на ответ» [52] были следующие:

«Вопрос о бесах. Мой оппонент заключает: «Таким образом, попытка А.Н. Котерова по изгнанию бесов нестабильности из страждущего тела радиационной биологии не состоялась».

Ну, почему же не состоялась?

Во-первых, никаких данных или аргументов, которые опровергали бы наличие порога для нестабильности генома при воздействии радиации с низкой ЛПЭ, у моего оппонента нет.

Во-вторых, из «Ответа» Ю. Дубровы однозначно следует, что последние бесы нестабильности генома и минисателлитов при малых дозах облучения со страшными воплями и проклятиями вышли откуда следует. А именно: если раньше он считал, что его Белорусская когорта облучена в дозах порядка 0,02 Зв, то теперь указывает на 0,2–0,5 Гр. Г-н Дуброва не верит больше в то, что минисателлиты могут мутировать при малых дозах радиации. И, кроме того, он в своем «Ответе» настаивает, что уже отрекся от нестабильности генома.

Успех экзорцизма налицо».

Правда, указанный «успех экзорцизма» до последнего времени был все-таки не совсем полным, но в конце концов, похоже, восторжествовал (ниже).

3.2. «Российские» последствия

Помимо рассмотренного «международного» последствия нашей публикации [47] имелись еще и некоторые последствия отечественного масштаба. В частности, редакция журнала «Радиационная биология. Радиоэкология» в то время проявляла явное нежелание публиковать результаты нашего аналитического исследования РИНГ при малых дозах радиации. К примеру, на международном симпозиуме «Хроническое радиационное воздействие. Биологические эффекты» (Челябинск, октябрь 2005 г.) были представлены наши тезисы и стенд по дозовым зависимостям для РИНГ [57]. Материалы этого симпозиума в виде полнообъемных статей публиковались затем в «Радиационной биологии. Радиоэкологии», но наш соответствующий материал по РИНГ от 2006 г. [20] прошел туда с определенным

трудом. В сноске на первой странице статьи было указано, что «материалы публикуются без редактирования», в то время как наша публикация прошла целых три рецензии и была отчасти изменена в соответствии с пожеланиями рецензентов (вплоть до названия).

Надо отметить, что в «Радиационной биологии. Радиоэкологии» чуть ранее, в 2005 г., был опубликован обзор казахстанского автора про РИНГ [18], содержащий грубые ошибки в самом основном — в зарегистрированных дозах индукции феномена (ошибки на порядок в сторону уменьшения). Вероятно, нет резона упоминать, что в обзоре [18] казахстанский автор придерживалась концепции реальности РИНГ при сколь угодно малых дозах редкоизионизирующей радиации. Ситуация с этим обзором [18] была обсуждена позже в наших публикациях [21, 36].

В 2006 г. весьма неоднозначно, с определенным недоверием, некоторыми представителями академической радиобиологии был принят наш устный доклад по теме на 5-м съезде по радиационным исследованиям (Москва, апрель 2006 г.) [58]. Собственно, «с недоверием» доклад был принят теми российскими радиобиологами, которые утверждали в своих статьях, что они изучают РИНГ, в особенности — при малых дозах облучения (напомним, что кроме группы И.И. Пелевиной [15, 16] почти никто не имел дела с действительно доказанной РИНГ (не считая трансгенерационных эффектов облучения на грызунах) [13, 20, 21]).

После этого журнал «Радиационная биология. Радиоэкология» перестал под разными предлогами печатать наши обзоры⁶, в которых делался вывод про отсутствие РИНГ после воздействия малых доз радиации с низкой ЛПЭ. Так были отклонены два обзора (2008 и 2010 гг.⁷), опубликованные затем в других журналах, в том числе за рубежом [36, 59–61]. Каждый раз обзоры проходили по три рецензии вместо двух, и мнения рецензентов не всегда были однозначны. Но никто ни разу не опроверг наш вывод о всего нескольких аномальных исключениях в плане индукции РИНГ при малых дозах радиации на общем фоне сотен публикаций по теме, и никто ни разу не привел в рецензиях какие-либо дополнительные данные такого рода.

При этом в тот же период (2009) нашу статью с результатами эксперимента по антиоксидантной активности после облучения журнал «Радиационная биология. Радиоэкология» опубликовал без помех [62].

⁶ К этому времени с 1986 г. у нас было опубликовано 15 статей в «Радиационной биологии. Радиоэкологии» (прежнее название — «Радиобиология»).

⁷ Тема обзора 2010 г. не относилась к РИНГ, но соответствующий раздел со всеми выводами там имелся.

Таким образом, исходя из открывшихся реалий, можно было заключить, что факты *об отсутствии* РИНГ при малых дозах облучения отнюдь не являлись научно-приоритетными для «Радиационной биологии. Радиоэкологии» 2000-х гг.

Между тем, парижский англоязычный журнал «International Journal of Low Radiation» в 2005 г. опубликовал наше полное по тому времени исследование дозовых зависимостей для разных типов РИНГ [13]. Объем статьи (76 страниц, 10 часто многостраничных таблиц, 434 ссылки) и ее тип были сравнимы с некоторыми сообщениями НКДАР, стиля которых мы и пытались придерживаться. Главный редактор парижского журнала, в то время профессор Андре Массе (Andre Maisseu) любезно опубликовал практически весь материал, который нам и хотелось опубликовать, почти без изъятий.

Эта большая подборка в виде обзорной статьи [13] позднее была передана в соответствующий рабочий комитет НКДАР (ниже).

В 2008 г. нами был добавочно разобран вопрос о РИНГ в документах международных организаций и в научных публикациях за период после выхода обзора в парижском журнале [13]. Данный материал, как уже отмечалось, был отклонен «Радиационной биологией. Радиоэкологией», но оказался опубликованным в 2009 г. «Медицинской радиологией и радиационной безопасностью» [36]. Наконец, проблема отсутствия РИНГ при малых дозах облучения обсуждалась нами в 2009–2010 г. в отдельных фрагментах некоторых статей, посвященных иным темам [44, 59–61].

В 2010 г., благодаря неоценимой помощи академика РАМН Л.А. Ильина и руководства ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, была издана наша монография (283 страницы, 730 источников), преимущественно про РИНГ. Почти с того же времени монография доступна на Интернет-портале ФГБУ «ГНЦ РФ — ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России [21]. Предисловие к ней было написано профессором С.П. Ярмоненко, автором фундаментального учебного пособия по радиобиологии. Это, безусловно, придало нашей монографии особую значимость.

Как нам кажется, в плане русскоязычных [19–21, 36, 44, 47, 48, 52, 59, 60] и англоязычных [13, 61] публикаций в той или иной степени по теме (2005–2010), включая доступную в Интернете монографию [21], нами было сделано, вероятно, все возможное. Основные выводы докладывались устно или были представлены в виде тезисов на четырех международных симпозиумах и конференциях (2004–2009) [46, 57, 58, 63]. Соответствующие материалы неоднократно предоставлялись в рабочие комитеты НКДАР. Нельзя сбрасывать со счетов и необычное отображение главных положений в виде полемической статьи

2004 г. [47, 48]), что должно было привлечь дополнительное внимание к сложившейся аномальной ситуации. Но долгое время так и не имелось твердых свидетельств, что миф о РИНГ при малых дозах радиации окончательно покидает отечественную и зарубежную радиобиологию.

4. Трактовка феномена РИНГ в документах международных организаций 2000-х гг.

Ясно, что международные (НКДАР, МКРЗ) или имеющие международный авторитет (BEIR) организации, занимающиеся медико-биологическими проблемами радиационного воздействия и радиационной безопасности, не могли пройти мимо проблемы РИНГ. В наших публикациях [21, 36] были представлены соответствующие положения из документов указанных организаций.

Подробно разбирать материалы из НКДАР, МКРЗ и BEIR здесь нет необходимости, кратко скажем только, что данные положения в документах 2000-х гг. весьма осторожны в плане дозовых зависимостей, и скорее совпадают с нашими выводами [13, 19–21, 36, 44, 47, 48, 59–61], а не с декларациями отечественных и некоторых зарубежных авторов о вездесущности РИНГ при малых дозах облучения. Так, в BEIR-VII [5] указано следующее⁸:

«Нет данных, демонстрирующих однозначные доказательства участия нестабильности генома в радиационном канцерогенезе... Пока молекулярные механизмы, отвечающие за нестабильность генома, а также ее связь с канцерогенезом, не ясны, экстраполяция дозовых зависимостей для РИНГ в область радиационного канцерогенеза при малых дозах (менее 100 мГр) неправомерна».

В пунктах A45 и A176 Сообщения МКРЗ-103 [23] также сказано, что сведения о механизме канцерогенеза через РИНГ либо противоречивы, либо вовсе отсутствуют. Но главное — что накопленные пока данные недостаточны для их учета в целях радиационной защиты (таблица А.7.1 [23]).

В 2004–2009 гг. НКДАР разрабатывал объемный документ по немишенным эффектам радиации (РИНГ, «эффект свидетеля» и адаптивный ответ). Всего было выпущено два промежуточных драфта (2004 и 2006 гг.) и окончательная версия 2009 г. [3]. И драфты, и конечный вариант содержат очень обширные и подробные таблицы по эффектам РИНГ *in vitro*, *in vivo* и пр., включая трансгенерационную РИНГ в эксперименте и в обсервационных исследо-

ваниях, а также эффекты *in utero*. Но ни в одном варианте нет однозначных выводов о доказанной индукции РИНГ малыми дозами облучения, как почти нет и конкретных доз радиации для цитированных источников [3]. Таблицы с РИНГ из сообщения НКДАР по немишенным эффектам не дают представления о зависимостях «доза–эффект» (о чем нами, впрочем, уже говорилось [21, 36]). Приведены год публикации, объекты исследования, тип излучения, схемы облучения и конечные эффекты. Но дозы практически всюду отсутствуют, за очень малыми и несистематическими исключениями.

Таким образом, на вопрос о дозовой зависимости РИНГ в сообщении НКДАР по немишенным эффектам (2009) нет ответа, хотя отдельные названные нами «исключения» с РИНГ при малых дозах радиации (см. выше раздел 2) и рассмотрены, так сказать, фрагментарно.

В период первого ознакомления с указанным сообщением НКДАР по немишенным эффектам автор настоящей публикации, ранее столкнувшийся с непростой ситуацией в отечественной радиобиологии, вынужден был думать, что отсутствие доз в подробных таблицах по РИНГ получилось у НКДАР неспроста. Но время и непосредственное знакомство с работой НКДАР на его последних сессиях [64, 65] развеяло такие подозрения. Хотя комиссии и эксперты НКДАР весьма авторитетны, они все же не обладают, вероятно, возможностью штудирования сотен публикаций на предмет «вылавливания» там (порой из методических разделов) конкретных доз радиации. Фактом остается то, что в наших опубликованных на русском [21] и английском [13] языках сводных таблицах по РИНГ (с дозами, понятно), соответствующих источников несколько больше, чем в драфтах и документе НКДАР по немишенным эффектам облучения [3]. Составление указанных таблиц с дозами потребовало, понятно, прямого ознакомления с оригиналами многих публикаций.

Но как бы там ни было, фактом остается и то, что ни в каких известных нам документах 2000-х гг. и позже НКДАР никогда не делал вывода о всеобщности эффекта РИНГ при малых дозах радиации и об обусловленности этим молекулярным механизмом канцерогенеза при таких дозах [21, 36], в отличие от ряда отечественных и зарубежных авторов (сводка данных по наиболее известным таким авторам представлена в нашей монографии [21]).

А в самые последние годы позиция в соответствующих документах НКДАР стала уже практически однозначной.

⁸ Англоязычные оригиналы цитат можно найти в нашей более ранней публикации [36].

5. Вероятный конец мифа о РИНГ при малых дозах радиации с низкой ЛПЭ (2012 г.)

Понимание сильных и слабых сторон клинических данных, например в публикациях материалов исследований, дает интеллектуальное удовлетворение и ощущение уверенности вместо недоумения и разочарования... Это обеспечивает достойную альтернативу тем признакам, по которым обычно судят о правоте собеседника в процессе общения с коллегами — убежденности, красноречию, профессиональному стажу или глубине специализации.

Флетчер Р. и соавт. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины [1].

Как уже отмечалось, нами неоднократно посылались материалы и пожелания в комиссии НКДАР, разрабатывавшие как сообщение по немишенным эффектам радиации [3], так и сообщение о биологических механизмах действия малых доз радиации (драфт от 2010 г.⁹ и окончательная версия от 2012 г. [4]). Посылался, в частности, и наш обзор 2005 г. в парижском «International Journal of Low Radiation» с 434-мя ссылками, таблицами по дозовым зависимостям для различных типов РИНГ с конечным выводом о пороге эффекта при ~0,5 Гр для радиации с низкой ЛПЭ [13].

Помимо некоторых ранних работ с выявленным отсутствием РИНГ, в том числе при малых дозах (ссылки см. в [13, 19–21, 36, 47, 48]), в последующие годы появились и дополнительные публикации зарубежных авторов, свидетельствующие о том, к примеру, что РИНГ имеет порог по крайней мере выше границы малых доз (более 0,1 Гр) [66]. Либо — что в области малых доз по критерию генетической нестабильности наблюдается даже гормезисный эффект (снижение уровня спонтанного показателя) [67]. Наконец, в 2011–2012 гг. были получены еще более однозначные результаты. Они полностью подтверждают наши выводы, сделанные еще за без малого десять лет до того [19, 46–48]. Так, в работе 2011 г. из Великобритании [68] для нормальных клеток костного мозга мышей при облучении рентгеновскими лучами *in vivo* в дозах 0–100 мГр (т.е. в малых дозах [26]) не было выявлено «эффекта свидетеля», а для всего диапазона уже средних доз (до 1 Гр [25]) не было зарегистрировано РИНГ по показателю хромосомной нестабильности.

В 2012 г. была опубликована сходная работа уже из США [69], в которой также изучалась РИНГ (по нестабильности хромосом) в костном мозге подвер-

гавшихся воздействию γ -излучения мышей линий BALB/c и C57BL/6 (напомним, что линия BALB/c является линией с исходно нестабильным геномом и с высокой радиочувствительностью [13, 20, 21, 36]). Использовались три дозы: 0,05; 0,1 и 1 Гр. Оказалось, что наименьшая доза (0,05 Гр) не только не индуцирует РИНГ, но даже снижает спонтанную нестабильность генома. Доза в 0,1 Гр (верхняя граница малых доз [26]) имела недостоверную тенденцию к увеличению уровня нестабильности генома, но только — для радиочувствительной и нестабильной линии мышей BALB/c. Это не является сюрпризом, поскольку ранее (1999–2001) было показано, что в клетках и тканях мышей BALB/c дозы радиации до 0,1 Гр способны вызывать РИНГ по самым различным показателям [70–72]. Что же касается дозы в 1 Гр, то в работе [69] эта доза уже достоверно индуцировала РИНГ у мышей BALB/c, но даже она не была способна увеличить изучаемый показатель у стабильной линии мышей C57BL/6.

Таким образом, вновь для нормального, стабильного объекта, как и почти десять лет до того [49] (см. также ссылки в [13, 20, 21, 36]), не удалось зарегистрировать индукцию РИНГ, причем ни при малых, ни при более высоких дозах облучения. Отметим, что утверждение об отсутствии немишенного эффекта и РИНГ при воздействии на костный мозг мышей малыми дозами радиации авторы двух работ 2011 и 2012 гг. [68, 69] вынесли в заголовки статей, нарушая, вновь, упомянутое нами выше «публикационное смещение» в медико-биологических исследованиях [1, 45]. Напомним, что суть «публикационного смещения» (bias) заключается в субъективном нежелании авторов и редакций публиковать отрицательные результаты. Вероятно, нынешняя ситуация уже стала обратной: отрицательные результаты по РИНГ при малых дозах радиации теперь рассматриваются как положительные.

Все это, по-видимому, переломило ситуацию в научном плане. В результате в изданном сообщении НКДАР «Biological mechanism of radiation action at low doses» от 2012 г. (доступно с 2013 г.) [4] в разделе про РИНГ уже есть положения, однозначно совпадающие с нашими середины 2000-х гг. Среди четырех отечественных ссылок по теме в этом сообщении две являются нашими — обзор по РИНГ от 2005 г. в «International Journal of Low Radiation» [13] и отвергнутая ранее «Радиационной биологией. Радиоэкологией» статья 2009 г. в «Медицинской радиологии и радиационной безопасности» [36]. Трудно предполагать, что НКДАР без разбору включает в свои сообщения и доклады все, что этому комитету некто изволит предоставить. Тем более, после минимум пятилетней работы авторов НКДАР над

⁹ UNSCEAR-2012. Mechanism of radiation action at low doses. Draft R.680, 3 August 2010, 33 p.

окончательной редакцией документа по немишенным эффектам радиации (РИНГ, «эффект свидетеля» и адаптивный ответ) [3]. Кроме того, вместе со ссылками на наши статьи в [4] упоминаются и последние работы, в которых РИНГ при малых дозах зарегистрировать не удалось, в том числе разобранная выше публикация [68].

Здесь уместно дать цитату тех положений, которые вошли в документ НКДАР-2012 по биологическим механизмам малых доз радиации [4] (ссылки K8 и K9 — это наши названные публикации [13, 36], а ссылка Z3 — это [68]; полужирный шрифт ниже — наш):

«Параграф 20. ...Немногие сообщения показывают, что РИНГ может индуцироваться малыми дозами радиации с низкой ЛПЭ [ссылки]; данные в целом разрозненны и в некоторых случаях представлены без статистического анализа. Напротив, убедительные сообщения показывают, что **РИНГ не индуцируется при дозах менее 0,1–0,2 Гр**, а иногда — и при более высоких дозах редкоизирующего излучения как *in vivo*, так и *in vitro*, за исключением трансформированных или аномальных клеток [J3, K8, K9, Z3]. Недавние обзоры экспериментальной литературы [K8, K9] показывают **вероятный порог для индукции РИНГ при 0,5 Гр радиации с низкой ЛПЭ, и недавние работы подтверждают это заключение [Z3]**».

«20 ...A few reports suggest that genomic instability can be induced by low doses of low-LET radiation [K14, K15, M13]; the data are on the whole sparse and in several cases presented without statistical analysis. By contrast robust reports suggest that **instability is not induced by doses of less than 0.1–0.2 Gy**, and in some cases higher doses, of low-LET irradiation either *in vivo* or *in vitro*, except in transformed or otherwise abnormal cells [J3, K8, K9, Z3]. Recent reviews of the experimental literature [K8, K9] indicate **a likely threshold for the induction of transmissible instability of 0.5 Gy low-LET radiation, and recent reports confirm this conclusion [Z3]**».

«Параграф 27. ...Появившееся заключение про **пороговую дозу в 0,5 Гр** радиации с низкой ЛПЭ для РИНГ (см. параграф 20) потенциально важно, поскольку строго свидетельствует, что **РИНГ не дает вклада в развития эффектов для здоровья при малых дозах редкоизирующей радиации**».

«27 ...The emerging consensus that a **threshold dose of around 0.5 Gy** of low-LET radiation exists for the induction of transmissible instability (see paragraph 20) is potentially important as it strongly suggests that radiation-induced transmissible instability **does not contribute to the development of health effects resulting from low doses of low-LET radiation**».

Комментарии, как говорится, теперь излишни, но абсолютизировать позицию НКДАР, учитывая все разнообразие разрабатываемых там документов и различные позиции авторов, тем не менее, мы не станем. Хотя академик И.П. Павлов и предлагал ученым «снимать шляпу» перед фактом, однако он же напоминал и о необходимости ее потом надеть (цитировано по [45]). Тем не менее, можно выразить удовлетворение, что практически все положения, которые вошли в наш когда-то имевший разные последствия фельетон 2004 г. [47, 48], а также в потребовавший большого труда англоязычный документ по РИНГ в парижском журнале 2005 г. на 76-ти страницах [13], теперь воспроизведены в изданном сообщении НКДАР-2012 [4]. И что из четырех российских ссылок по теме РИНГ две в нем являются нашими.

Но как бы ни относиться, даже «надевая шляпу» (согласно академику И.П. Павлову), к степени важности указанного фрагмента про порог РИНГ в НКДАР-2012 [4], останется фактом то, что теперь всегда можно процитировать из изданных документов НКДАР многое, что подтверждает наши выводы еще середины 2000-х гг., в том числе, *теперь*, подтверждает *буквально*. Ничего подобного сторонники утверждений про РИНГ при малых дозах радиации процитировать, очевидно, не смогут. Впрочем, надо сказать, что в отечественной радиобиологии последних лет число деклараций о РИНГ при малых дозах радиации весьма сильно поуменилось (но, к сожалению, не в околонуточных СМИ и не в образовательном материале; см. ниже). Будем надеяться, что наши многолетние усилия в этом плане все же не прошли даром не только на уровне НКДАР, но и на уровнях масштабом помельче.

Безусловно, никакие наши усилия не возымели бы действия без неопределимой помощи академика РАМН Л.А. Ильина, который, как оказалось, видел в научном плане проблему РИНГ лучше многих. Важную роль сыграла в свое время и присущая профессору С.П. Ярмоненко научная отвага, позволившая публиковать наши порой весьма необычные работы. Обоим этим исследователям нам остается только принести глубокую благодарность и выразить, в очередной раз, свое особое уважение. Нельзя не выразить также признательности и главному редактору «Бюллетеня по атомной энергии» Н.Я. Левченко, который также способствовал опубликованию в 2004 г. нашего научного фельетона в своем журнале (практически без купюр) [48].

Следует отметить, что примерно в то время, как в НКДАР-2012 [4] были опубликованы выводы об отсутствии РИНГ при малых дозах радиации, наблюдается окончательное, вероятно, изменение позиции профессора Ю.Е. Дубровы из Великобритании.

Вернувшись к «международным» последствиям нашей полемической статьи [47, 48] (см. выше подраздел 3.1) надо сказать следующее. Так ли уж совпало, или наша критика [47, 48, 52] возымела действие, или же критика на сессии НКДАР (в то время — драфт 2006 г. сообщения НКДАР по немишенным эффектам радиации [3]), но с 2006 г. в работах Ю.Е. Дубровы акценты уже сильно сместились, и его «генетическая эпидемиология» Чернобыля и Семипалатинска упоминается нечасто. К примеру, в обзоре в журнале «Генетика» за 2006 г. [73] этот автор провел фундаментальное рассмотрение трансгенерационной РИНГ после облучения, в том числе на базе своих работ по наследуемым мутациям в tandemных повторах, но — только для мышей. В разделе «Заключение» есть следующее положение: «...следует подчеркнуть, что в настоящее время экстраполяция представлена в настоящей работе данных на человека является проблематичной».

И последующие публикации Ю.Е. Дубровы с соавторами, насколько можно видеть в Pubmed, связаны с экспериментом, но не с эпидемиологией.

Среди таких работ наиболее интересной применительно к теме РИНГ является экспериментальная публикация за 2012 г. Ю.Е. Дубровы с соавторами [74], которая позволяет надеяться на окончательный успех упоминавшегося выше «экзорцизма». Полученные в ней результаты и, главное, сделанные заключения, кажутся тем более ценными, что они исходят в том числе от «особенно упорствующего» ранее исследователя.

Итак, в июле 2012 г. в журнале PloS ONE, публикующем проблемные статьи по разнообразным дисциплинам, вышла работа пяти авторов: из Лейстеровского университета Великобритании (Ю.Е. Дуброва с соавтором), Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН (А.В. Рубанович с соавтором) и Медицинского радиологического научного центра РАМН [74]. Последним (т.е. главным по неписанным академическим канонам) автором является Ю.Е. Дуброва. В работе была использована экспериментальная схема Ю.Е. Дубровы с соавторами прежних лет (с начала 1990-х гг.) изучения трансгенерационной РИНГ по мутациям в простых tandemных повторах при воздействии на мышей (в данном случае — BALB/c) γ -излучения. Частоту мутаций определяли в том числе в сперме и мозгу потомков первого поколения подвергавшихся радиационному воздействию мышей. Было обнаружено, что применительно к трансгенерационным эффектам (т.е. именно к РИНГ), частота мутаций у потомков увеличивалась при остром облучении родителей в дозах 0,5 и 1 Гр. Однако ни острая экспозиция родителей при средних дозах, смежных с малыми (0,1–0,25 Гр), ни хрониче-

ское воздействие с малой мощностью дозы при 1 Гр, уже не изменяли стабильность генома у их потомков.

Таким образом, профессор Ю.Е. Дуброва с соавторами почти через 20 лет после первых публикаций по трансгенерационно передаваемым мутациям в tandemных повторах ДНК у облученных мышей (1993 г. [75]) наконец-то проверил эффекты малых доз (ранее, как отмечалось выше, минимальные опубликованные дозы в его работах составляли 0,5 Гр).

Что ценного в этих результатах 2012 г. [74]? Во-первых, конечно, отсутствие трансгенерационной РИНГ не только при малых, но даже при смежной с ними части диапазона средних доз острого облучения (0,1–0,25 Гр [26]). Во-вторых — в том, что хроническое воздействие даже в высокой дозе 1 Гр не эффективно для индукции наследственных генетических эффектов даже по показателю tandemных повторов в ДНК (мутирующих в 1000 раз интенсивнее, чем кодирующие гены [3, 13, 20, 21, 27, 73, 75]). И в-третьих — в том, что все это было продемонстрировано на особенно радиочувствительной и нестабильной линии мышей BALB/c. Мы не будем останавливаться на том, что в экспериментах других авторов РИНГ индуцировалась у этих нестабильных и дефектных мышей даже при дозах 0,1 Гр и менее [70–72], в том числе по показателю наследуемого мутирования в микросателлитных повторах ДНК [70]. На эти уже давние работы преимущественно группы В.Г. Безлепкина (Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино) в статье Ю.Е. Дубровы и соавт., 2012 [74] ссылок нет. Но дело не в этом. Главными являются те конечные выводы, которые сделаны в статье [74] Ю.Е. Дубровой с соавторами:

«Наши данные означают, что проявление трансгенерационной нестабильности триггируется порогом дозы при остром облучении родителей».

«Our data imply that the manifestation of transgenerational instability is triggered by a threshold dose of acute paternal irradiation».)

А также:

«В соответствии с нашими результатами, пороговая доза для трансгенерационных эффектов после острого воздействия на родителей γ -излучения с низкой ЛПЭ не должна превышать 50 сГр».

«According to our results, the threshold dose for transgenerational effects following paternal exposure to acute low-Linear Energy Transfer (LET) γ -irradiation should not exceed 50 cGy».)

Вряд ли стоит упоминать, что ссылок и на наши публикации еще середины 2000-х гг., в которых на основе анализа многих работ делались практически те же самые выводы, в том числе про порог для РИНГ

при 0,5 Гр¹⁰ [13, 20, 21, 47, 48], в статье Ю.Е. Дубровы и соавт., 2012 [74] нет, хотя, учитывая ту давнюю историю с фельетоном, ведущий автор должен был бы про все это как-то помнить¹¹. Зато в [74] уже обсуждаются две последние на тот момент работы 2011 и 2012 гг. [68, 69], в которых факт отсутствия РИНГ при малых дозах радиации вынесен даже в заголовки (они были рассмотрены выше). Можно предположить, что не раз упоминавшееся нами «публикационное смещение» [1, 45], которое, возможно, почти 20 лет (ср. [74] и [75]) не позволяло главному исследователю мутаций в тандемных повторах публиковать данные про отсутствие эффектов малых доз, наконец-то обернулось своим отражением с обратным знаком.

6. Заключение

Как свидетельствует представленный здесь материал, мифу о РИНГ при малых дозах излучения с низкой ЛПЭ для более или менее нормальных клеток и организмов научная точка, вероятно, поставлена. Выполненный нами в течение 2000-х гг. анализ экспериментальных и обсервационных исследований, результаты которого были представлены на четырех международных конференциях и симпозиумах, а также изложены в русско- и англоязычных вариантах в ряде публикаций, включая монографию [13, 19–21, 43, 44, 46–48, 52, 57, 58, 63], продемонстрировал следующее. Что РИНГ для малых доз облучения за десятки лет соответствующих работ зарегистрирована для очень немногих объектов, которые можно пересчитать по пальцам одной руки. Все из этих объектов не являлись нормальными, имея повышенную спонтанную нестабильность генома, дефекты в репарации ДНК и/или аномальную радиочувствительность (исключение составило только радиационное воздействие *in utero*, поскольку зигота, зародыш и плод даже в норме имеют высокую чувствительность к повреждающим факторам). Для РИНГ при воздействии редкоизионизирующей радиации на основе анализа сотен публикаций *in vitro* и *in vivo* выявился порог при 0,5 Гр, о чем мы сообщали еще в начале – середине 2000-х гг.

Эти данные не признавались в отечественной академической радиобиологии, в то время как в документах международных организаций (НКДАР, BEIR и МКРЗ) относительно дозовых зависимостей для

РИНГ вплоть до последних лет имела явная неопределенность. Хотя там и утверждалось, что считать этот феномен молекулярным механизмом индукции (промоции) канцерогенеза при малых дозах облучения, а также учитывать его в области радиационной безопасности, пока преждевременно [2, 3, 5, 23].

Но время, а также все прибавляющиеся зарубежные работы с отрицательными результатами в плане индукции РИНГ малыми дозами для нормальных объектов [49, 66–69, 74]¹², равно как и предоставление нашего материала [13, 36] в комиссии НКДАР, сыграли, вероятно, свою роль. В итоге опубликованные нами почти десять лет назад¹³ положения о пороге эффекта при порядка 0,5 Гр вошли в 2011–2012 гг. в сообщение НКДАР по биологическим механизмам эффектов малых доз радиации [4], и поддерживаются ныне [74] даже столь активным ранее зарубежным оппонентом [52, 56].

Это весьма удовлетворяющий результат, поскольку в прежние годы автору представленной статьи приходилось выступать в сфере отечественной радиобиологии с названными выводами практически в одиночку, имея в качестве оппонентов ведущих российских академических исследователей, занимающихся проблемами малых доз, что отразилось тогда на трудностях и даже отказах в опубликовании соответствующего материала в журнале «Радиационная биология. Радиоэкология». В качестве подобия положению дел с РИНГ в академической радиобиологии вспоминаются строки из исторической монографии П. Джеймса и Н. Торпа [76], которые наилучшим образом отражают ту ситуацию, хотя и для иной темы и для иной страны:

«Авторы с легкостью впадают в менторский тон, размеренно и терпеливо внушая читателю, что такие-то и такие-то вещи являются абсолютной чепухой. Этот стиль особенно распространен в Америке».

Однако теперь в качестве подтверждения наших положений о мифе РИНГ при малых дозах облучения [13, 19–21, 36, 43, 44, 46–48, 52, 57–61, 63] и о пороге эффекта при порядка 0,5 Гр всегда есть возможность сослаться на буквальное воспроизведение этих положений как в НКДАР-2012 [4], так и в работе 2012 г. [74] нашего прежнего активного оппонента [52, 56].

Важность же этих положений для радиационной безопасности и регламентации допустимых уровней лучевой экспозиции применительно к радиации с низкой ЛПЭ трудно переоценить. Действительно,

¹⁰ Только про порог у нас не было сказано, что он «не превышает 0,5 Гр», как в [74], поскольку из анализа опубликованных данных надо было бы сказать скорее «не ниже 0,5 Гр».

¹¹ Остальные авторы статьи [74], включая молекулярного генетика А.В. Рубановича, не занимались напрямую ни РИНГ, ни наследуемыми мутациями в минисателлитных повторах, так что основная ответственность ложится на наиболее осведомленного в этом плане Ю.Е. Дуброву.

¹² Сводку таких ссылок 2000-х гг. и ранее см. в [13, 19–21, 36, 47, 48].

¹³ Если же учитывать отчет 2001 г. по отраслевой программе «Техногенное облучение и безопасность человека», то и более 10 лет назад.

если не имеется ни «биологического правдоподобия» (т.е. молекулярного механизма), ни статистической мощности эпидемиологии для доказательства учащения стохастических эффектов после облучения в малых дозах [1–5, 45, 59–61], то нет оснований говорить и о доказанности лучевого канцерогенеза для указанного диапазона доз. Хотя в самые последние годы, когда теория РИНГ при малых дозах радиации потерпела, так сказать, фиаско, на первый план начинают выдвигаться другие молекулярные механизмы, связанные, как считается, с трудностью репарации комплексных лучевых повреждений ДНК для области малых доз и т.п. [77].

Казалось бы, точка для мифа о РИНГ при малых дозах облучения поставлена. Но это — только «научная» точка. И если в публикациях отечественных радиобиологов в последние годы утверждения о вездесущности РИНГ при малых дозах радиации уже практически не имеют места, тем не менее в научно-популярных СМИ и в образовательных курсах ситуация, похоже, еще более плачевна, чем в 2000-х гг. Об этом свидетельствует даже поверхностный поиск в Интернете. К сожалению, безответственно выпущенный на мировые просторы миф о РИНГ как индукторе канцерогенеза при малых дозах, в том числе для пострадавших после Чернобыльской аварии (а теперь — и аварии на АЭС «Фукусима»; есть такие фразы в Рунете), зажил своей жизнью, вполне отдельной от научной. И можно видеть, скажем, в выложенных в Интернет презентациях с лекциями по радиобиологии, что неправомерные утверждения про РИНГ, вошедшие в 2000-х гг. в том числе в некоторые вузовские учебники [78], преподаются, к примеру, студентам Института фундаментальной биологии и биотехнологии (ИФБиТ) Красноярского научного центра Сибирского отделения РАН в 2012 г. [79]. Подобных фактов можно найти не один и не два.

Остается только надеяться, что действительно корректные научные представления, окончательно возобладавшие, вероятно, в научной сфере, рано или поздно распространятся и на сферу образования, и на сферу СМИ.

В заключение автор еще раз глубоко благодарит академика РАМН профессора Леонида Андреевича Ильина, без инициатив и поддержки которого миф о РИНГ при малых дозах облучения вряд ли был бы развешен. Следует также отдать дань глубокого уважения памяти покойного профессора Самуила Петровича Ярмоненко, который всегда понимал и поддерживал автора представленной публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины. Пер. с англ. — М.: Медиа Сфера, 1998, 352 с.
2. *United Nations. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A. Epidemiological studies of radiation and cancer.* United Nations. New York, 2008, P. 17–322.
3. *United Nations. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex C. Non-targeted and delayed effects of exposure to ionizing radiation.* United Nations. New York, 2009, P. 1–79.
4. *United Nations. UNSCEAR 2012. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Biological mechanism of radiation action at low doses.* New York, 2012, 35 pp.
5. *BEIR VII Report 2006. Phase 2. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation.* Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council. (<http://www.nap.edu/catalog/11340.html>, см. также http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=11).
6. *International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 99. Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk.* // *Annals of the ICRP.* Ed. by J. Valentin. Amsterdam — New-York: Elsevier, 2006, 147 pp.
7. Mothersill C., Seymour C. Lethal mutations and genomic instability. // *Int. J. Radiat. Biol.*, 1997, **71**, No. 6, P. 751–758.
8. Mothersill C., Seymour C. Genomic instability after low dose irradiation: relationship to cell stress and implications for radiation protection. // In: «The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health». Ed. by WONUC, 2000. — Elsevier Science B. V., P. 59–63.
9. Mothersill C., Seymour C. Radiation-induced bystander effects: past history and future directions. // *Radiat. Res.*, 2001, **155**, No. 6, P. 759–767.
10. Wright E.G. Radiation-induced genomic instability: manifestations and mechanisms. // *Int. J. Low Radiation*, 2004, **1**, No. 2, P. 231–241.
11. Brooks A.L. Paradigm shifts in radiation biology: their impact on intervention for radiation-induced disease. // *Radiat. Res.*, 2005, **164**, No. 4. Pt 2, P. 454–461.
12. Matsumoto H., Hamada N., Takahashi A. et al. Vanguard of paradigm shift in radiation biology: radiation-induced adaptive and bystander responses. // *J. Radiat. Res. (Tokyo)*, 2007, **48**, No. 2, P. 97–106.
13. Koterov A.N. Genomic instability at exposure of low dose radiation with low LET. Mythical mechanism of unproved carcinogenic effects. // *Int. J. Low Radiation*, 2005, **1**, No. 4, P. 376–451.

14. Литтл Д.Б. Немишенные эффекты ионизирующих излучений: выводы применительно к низкодозовым воздействиям. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2007, **47**, № 3, С. 262–272.
15. Пелевина И.И., Готлиб В.Я., Кудряшова О.В. и соавт. Нестабильность генома после воздействия радиации в малых дозах (в 10 километровой зоне аварии на ЧАЭС и в лабораторных условиях). // Радиационная биология. Радиоэкология, 1996, **36**, № 4, С. 546–560.
16. Пелевина И.И., Готлиб В.Я., Кудряшова О.В., Антошина М.М. Развитие отдаленных последствий в потомках облученных клеток млекопитающих. // Онтогенез, 2001, **32**, № 1, С. 51–57.
17. Мазурик В.К., Михайлов В.Ф. Радиационно-индуцированная нестабильность генома: феномен, молекулярные механизмы, патогенетическое значение. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2001, **41**, № 3, С. 272–289.
18. Ахматуллина Н.Б. Отдаленные последствия действия радиации и индуцированная нестабильность генома. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2005, **45**, № 6, С. 680–687.
19. Котеров А.Н. Малые дозы ионизирующей радиации: подходы к определению диапазона и основные радиобиологические эффекты. // В кн.: Радиационная медицина. Под общ. ред. Л.А. Ильина. Т. 1. Теоретические основы радиационной медицины. — М.: Изд. АТ. 2004, С. 871–925.
20. Котеров А.Н. Отсутствие фактов нестабильности генома после облучения в малых дозах радиацией с низкой ЛПЭ клеток без явных дефектов и организма вне *in utero*. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2006, **46**, № 5, С. 585–596.
21. Котеров А.Н. Малые дозы радиации: факты и мифы. Основные понятия и нестабильность генома. — М.: Изд-во «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2010, 283 с. (<http://fmbcfmba.org/default.asp?id=6000>).
22. Абелев Г.И., Альтиштейн А.Д., Белицкий Г.А. и соавт. Канцерогенез. Под ред. Д.Г. Заридзе. — М.: Научный мир, 2000, 420 с.
23. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. // Annals of the ICRP. Ed. by J. Valentin. — Amsterdam — New York: Elsevier, 2007, 329 p.
24. Duesberg P., Li R., Fabarius A., Hehlmann R. The chromosomal basis of cancer. // Cell Oncol., 2005, **27**, No. 5–6, P. 293–318.
25. Andreev S.G., Eidelman Y.A., Salnikov I.V., Khvostunov I.K. Mechanistic modelling of genetic and epigenetic events in radiation carcinogenesis. // Radiat. Prot. Dosimetry, 2006, **122**, No. 1–4, P. 335–339.
26. Котеров А.Н. От очень малых до очень больших доз радиации: новые данные по установлению диапазонов и их экспериментально-эпидемиологические обоснования. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2013, **58**, № 2, С. 5–21.
27. Dubrova Y.E., Plumb M., Brown J. et al. Radiation-induced germline instability at minisatellite loci. // Int. J. Radiat. Biol., 1998, **74**, No. 6, P. 689–696.
28. Trott K.R., Rosemann M. Molecular mechanisms of radiation carcinogenesis and the linear, non-threshold dose response model of radiation risk estimation. // In: «The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health». Ed. by WONUC, 2000. — Elsevier Science B.V., P. 65–77.
29. Feinendegen L.E. Evidence for beneficial low level radiation effects and radiation hormesis. // Brit. J. Radiol., 2005, **78**, No. 925, P. 3–7.
30. Хомазюк І.М., Ковальов О.С., Курсіна Н.В. Комбінована дія чинників радіаційної та нерадіаційної природи в розвитку інфаркту міокарда в учасників ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи. // Матер. міжн. научно-практич. конфер. «Отдаленные последствия действия ионизирующего излучения», Киев, 23–25 мая 2007, С. 151–152.
31. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. 2-е изд. — М.: Высш. шк., 1984, 375 с.
32. Seymour C.B., Mothersill C., Alper T. High yields of lethal mutations in somatic mammalian cells that survive ionizing radiation. // Int. J. Radiat. Biol. Relat. Stud. Phys. Chem. Med., 1986, **50**, No. 1, P. 167–179.
33. Mothersill C., Seymour C. The influence of lethal mutations on the quantification of radiation transformation frequencies. // Int. J. Radiat. Biol. Relat. Stud. Phys. Chem. Med., 1987, **51**, No. 4, P. 723–729.
34. Готлиб В.Я., Тапонайнен Н.Я., Пелевина И.И. Длительно существующие повреждения ДНК и выживаемость клеток млекопитающих. // Радиобиология, 1985, **25**, № 4, С. 435–443.
35. Тапонайнен Н.Я., Готлиб В.Я., Пелевина И.И. Чувствительность к воздействию ингибиторов пострадиационной репарации и повторного облучения потомков облученных клеток. // Радиобиология, 1986, **26**, № 6, С. 755–760.
36. Котеров А.Н. Радиационно-индуцированная нестабильность генома при действии малых доз радиации в научных публикациях и в документах международных организаций последних лет. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2009, **54**, № 4, С. 5–13.
37. Kreja L., Greulich K.M., Flidner T.M. et al. Stable chromosomal aberrations in haemopoietic stem cells in the blood of radiation accident victims. // Int. J. Radiat. Biol., 1999, **75**, No. 10, P. 1241–1250.

38. Слозина Н.М., Неронова Е.Г., Линская М.Н., Никифоров А.М. О некоторых сложностях в оценке радиационно-индуцированных мутагенных эффектов у человека. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, **42**, № 6, С. 684–686.
39. Севаньяев А.В., Голуб Е.В., Хвостунов И.К. и соавт. Ретроспективная оценка доз в отдаленный пострadiационный период разными биологическими методами. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2004, **44**, № 6, С. 637–652.
40. Хвостунов И.К., Севаньяев А.В. Актуальные проблемы оценки доз в отдаленный период после неконтролируемого облучения человека и перспективы их решения с помощью цитогенетического метода. // В сб. тез. докл. междунар. конф. «Новые направления в радиобиологии». Москва, 6–7 июня 2007 г. — М.: РУДН, 2007, С. 80–82.
41. Любимова Н.Е., Воробцова И.Е. Влияние возраста и низкодозового облучения на частоту хромосомных aberrаций в лимфоцитах человека. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2007, **47**, № 1, С. 80–85.
42. United Nations. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Annex J. Exposures and Effects of the Chernobyl Accident. — New York, 2000, P. 451–566.
43. Ильин Л.А., Иванов А.А., Кочетков О.А. и соавт. Техногенное облучение и безопасность человека. Под ред. Л.А. Ильина. — М.: ИздАТ, 2006, 304 с.
44. Котеров А.Н. Ограничения при распространении закономерностей для клеток *in vitro* на область радиационной медицины. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2009, **54**, № 5, С. 5–14.
45. Власов В.В. Эпидемиология. Учебное пособие. 2-е изд., испр. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006, 464 с.
46. Котеров А.Н. Отсутствие экспериментальных фактов нестабильности генома после облучения в малых дозах клеток без дефектов в репарации ДНК. // Матер. междунар. конф. «Медико-дозиметрические регистры — основа регламентации радиационной безопасности профессионалов и населения», июль 2004. — М., 2004, С. 47–48.
47. Котеров А.Н. Заклинания о нестабильности генома после облучения в малых дозах. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2004, **49**, № 4, С. 55–72.
48. Котеров А.Н. Заклинания о нестабильности генома после облучения в малых дозах. // Бюлл. по атомн. энергии, 2004, № 8, С. 46–57.
49. Dugan L.C., Bedford J.S. Are chromosomal instabilities induced by exposure of cultured normal human cells to low- or high-LET radiation? // Radiat. Res., 2003, **159**, No. 3, P. 301–311.
50. Whitehouse C.A., Tawn E.J. No evidence for chromosomal instability in radiation workers *with in vivo* exposure to plutonium. // Radiat. Res., 2001, **156**, No. 5, Pt. 1, P. 467–475.
51. Bouffler S.D., Haines J.W., Edwards A.A. et al. Lack of detectable transmissible chromosomal instability after *in vivo* or *in vitro* exposure of mouse bone marrow cells to ²²⁴Ra alpha particles. // Radiat. Res., 2001, **155**, No. 2, P. 345–352.
52. Котеров А.Н. По поводу статьи профессора Ю. Дуброва «Изгнание бесов из радиационной биологии» (минисателлиты). // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2005, **50**, № 4, С. 60–73.
53. Neel J.V. Two recent radiation-related genetic false alarms: leukemia in West Cumbria, England, and minisatellite mutations in Belarus. // Teratology, 1999, **59**, No. 4, P. 302–326.
54. Satoh C., Kodaira M. Effects of radiation on children. // Nature, 1996, **383**, Suppl. 3, P. 226.
55. Kodaira M., Izumi S., Takahashi N., Nakamura N. No evidence of radiation effect on mutation rates at hyper-variable minisatellite loci in the germ cells of atomic bomb survivors. // Radiat. Res., 2004, **162**, No. 4, P. 350–356.
56. Дуброва Ю.Е. Изгнание бесов из радиационной биологии. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2005, **50**, № 4, С. 56–59.
57. Котеров А.Н. Нестабильность генома при действии редкоизирующей радиации в малых дозах. Мифический механизм недоказанных канцерогенных эффектов. // Матер. междунар. симп. «Хроническое радиационное воздействие. Биологические эффекты». Челябинск, 24–26 октября 2005, С. 9–10.
58. Котеров А.Н. Нестабильность генома при действии редкоизирующей радиации в малых дозах. Мифический механизм недоказанных канцерогенных эффектов. // Матер. V съезда по радиац. исследованиям. Москва, 10–14 апреля 2006, Т. 1, С. 88.
59. Котеров А.Н., Жаркова Г.П., Бирюков А.П. ТанDEM радиационной эпидемиологии и радиобиологии для практики радиационной защиты. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2010, **55**, № 4, С. 55–84.
60. Бирюков А.П., Котеров А.Н. Роль радиобиологии при оценке радиационного риска. // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности (Гомель), 2010, № 1(3), С. 22–29.
61. Koterov A.N., Biryukov A.P. Role of radiobiology for radiation epidemiology using for radiation protection. // Int. J. Low Radiation, 2010, **7**, No. 6, P. 473–499.
62. Котеров А.Н., Сидорович Г.И. Разнонаправленное изменение антиоксидантной активности в плазме (сыворотке) крови млекопитающих после воздействия радиации в большой и малой дозе. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2009, **49**, № 6, С. 671–680.

63. Котеров А.Н. Дозовые закономерности немишен-
ных эффектов радиации с низкой ЛПЭ. // В сбор-
нике материалов V Съезда Радиобиологическо-
го общества Украины (Ужгород, 15–18 сентября
2009 г.), Ужгород, 2009, С. 91.
64. Киселев М.Ф., Азизова Т.В., Аклеев А.В. и соавт.
О работе 59-й сессии Научного комитета по дей-
ствию атомной радиации ООН (НКДАР ООН)
(Вена, 21–25 мая 2012 г.). // Мед. радиол. и радиац.
безопасность, 2012, **57**, № 5, С. 11–19.
65. Киселев М.Ф., Азизова Т.В., Аклеев А.В. и соавт.
О работе 60-й сессии Научного комитета по дей-
ствию атомной радиации ООН (НКДАР ООН)
(Вена, 27–31 мая 2013 г.). // Мед. радиол. и радиац.
безопасность, 2013, **58**, № 5, С. 62–72.
66. Maxwell C.A., Fleisch M.C., Costes S.V. et al. Target-
ed and nontargeted effects of ionizing radiation that
impact genomic instability. // Cancer Res., 2008, **68**,
No. 20, P. 8304–8311.
67. Huang L., Kim P.M., Nickoloff J.A., Morgan W.F. Tar-
geted and nontargeted effects of low-dose ionizing ra-
diation on delayed genomic instability in human cells.
// Cancer Res., 2007, **67**, No. 3, P. 1099–1104.
68. Zyuzikov N.A., Coates P.J., Parry J.M. et al. Lack of
nontargeted effects in murine bone marrow after low-
dose *in vivo* X irradiation. // Radiat. Res., 2011, **175**,
No. 3, P. 322–327.
69. Rithidech K.N., Udomtanakunchai C., Honikel L.M.,
Whorton E.B. No evidence for the *in vivo* induction of
genomic instability by low doses of ¹³⁷Cs gamma rays in
bone marrow cells of BALB/cj and C57BL/6j mice. //
Dose–Response, 2012, **10**, No. 1, P. 11–36.
70. Vasil'eva G.V., Bezlepkin V.G., Lomaeva M.G. et al.
AP-PCR assay of DNA alterations in the progeny of
male mice exposed to low-level gamma-radiation. //
Mutat. Res., 2001, **485**, No. 2, P. 133–141.
71. Фоменко Л.А., Васильева Г.В., Безлепкин В.Г.
В эритроцитах костного мозга потомства мышей,
подвергнутых хроническому гамма-облучению
в малых дозах, повышена частота микроядер. //
Известия АН. Серия биологическая, 2001, № 4,
С. 419–423.
72. Ullrich R.L., Davis C.M. Radiation-induced cyto-
genetic instability *in vivo*. // Radiat. Res., 1999, **152**,
No. 2, P. 170–173.
73. Дуброва Ю.Е. Нестабильность генома среди по-
томков облученных родителей. Факты и их ин-
терпретация. // Генетика, 2006, **42**, № 10, С. 1335–
1347.
74. Mughal S.K., Myazin A.E., Zhavoronkov L.P. et al.
The dose and dose-rate effects of paternal irradiation
on transgenerational instability in mice: a radiotherapy
connection. // PLoS ONE, 2012, **7**, No. 7, P. e41300–
e41300.
75. Dubrova Y.E., Jeffreys A.J., Malashenko A.M. Mouse
minisatellite mutation induced by ionizing radiation. //
Nat. Genet., 1993, **5**, No. 1, P. 92–94.
76. Джеймс П., Торп Н. Тайны древних цивилиза-
ций. — М.: Эксмо. 2007, 864 с.
77. Газиев А.И. Низкая эффективность репарации
критических повреждений ДНК, вызываемых ма-
лыми дозами радиации. // Радиационная биология. Ради-
оэкология, 2011, **51**, № 5, С. 512–529.
78. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ио-
низирующие излучения). — М.: Физматлит, 2004,
448 с.
79. Сайт Института фундаментальной биологии и
биотехнологии (ИФБиБТ) Красноярского научного
центра Сибирского отделения РАН (<http://bio.sfu-kras.ru/>). Презентации по учебным темам: «Радиа-
ционное поражение живой клетки» от 19.11.2012 г.
и «Биологические эффекты малых доз ионизи-
рующего излучения» от 26.11.2012 г. [bio.sfu-kras.ru/files/1966_Tema7\(L5\)-2012a.ppt](http://bio.sfu-kras.ru/files/1966_Tema7(L5)-2012a.ppt); [bio.sfu-kras.ru/files/2183_Tema8\(L6\)-2012a.ppt](http://bio.sfu-kras.ru/files/2183_Tema8(L6)-2012a.ppt).

Поступила: 23.09.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

В.Ф. Степаненко¹, М. Хоши², А.Ф. Цыб¹

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОДУКТОВ
ПИТАНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ И ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ
НАСЕЛЕНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА АЭС ФУКУСИМА-1:
СООБЩЕНИЕ 2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ,
ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ И РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ**

V.F. Stepanenko¹, M. Hoshi², A.F. Tsyb¹

**Environmental and Food Products Contamination by Radionuclides
and Doses of Irradiation to Population Following Radiation Accident
on Fukushima-1 NPP:
Part 2. Contamination of Food Products, Doses of Irradiation and
Retrospective Dosimetry**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
Радиоактивное загрязнение продуктов питания
Дозы облучения
Заключение
Список литературы

CONTENT

Introduction
Radioactive contamination of food products
Doses of irradiation
Conclusion
List of references

Ключевые слова: радиационная авария, Фукусима-1, загрязнение радионуклидами, дозы облучения, ретроспективная дозиметрия

Key words: radiation accident, Fukushima-1, contamination by radionuclides, radiation doses, retrospective dosimetry

Введение

В сообщении 1 был представлен обзор данных по загрязнению радионуклидами окружающей среды, включая океанскую акваторию, инструментальных измерений, полученных японскими специалистами после радиационной аварии на АЭС Фукусима-1.

В настоящем сообщении представлен обзор данных по загрязнению радионуклидами продуктов питания, включая морские продукты, а также соответствующий обзор данных о дозах облучения населения. В этот обзор были включены и данные о дозах облучения персонала АЭС, работников иных служб Японии, связанных с деятельностью по ликвидации и уменьшению последствий аварии.

Так же как и в сообщении 1, необходимо отметить, что при написании данного обзора принципиально важным было использование первоисточников (данных, опубликованных японскими специалистами и японскими официальными структурами), со ссылками на опыт ретроспективной дозиметрии после аварии на ЧАЭС. Авторы надеются, это может

быть полезным для широкого круга специалистов и для лиц, принимающих решения в ситуациях, связанных с радиационными авариями.

Радиоактивное загрязнение продуктов питания

17 марта 2011 г. (дополнения от 31 марта 2011 г.) Министерство здравоохранения, труда и благосостояния Японии (MHLW) установило временные (сроком до 31 марта 2012 г.) допустимые нормативы (ВДН) содержания ¹³¹I и ¹³⁷Cs в питьевой воде и продуктах питания, исходя из того, чтобы по самым консервативным предположениям эффективная годовая доза внутреннего облучения не превышала 5 мЗв/год (табл. 1) [1, 2]. 5 апреля 2011 г. был введен расширенный список продуктов питания — см. примечания к табл. 1. Важно отметить, что японские специалисты не только установили ВДН, но и сопровождали их последующим тщательным инструментальным контролем [2]. Новые, более жесткие нормативы были введены с 1 апреля 2012 г. (табл. 2) [1, 2].

¹ Медицинский Радиологический Научный Центр Минздрава РФ, Обнинск. E-mail: mrrc@mrrc.obninsk.ru

² Хиросимский университет, Хиросима, Япония

¹ Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russia. E-mail: mrrc@mrrc.obninsk.ru

² Hiroshima University, Hiroshima, Japan

Таблица 1

**Временные допустимые нормативы на продукты питания, введенные 17 марта 2011 г.
с дополнениями от 31 марта 2011 г. [1, 2]**

Радионуклиды	Категории продуктов питания и воды	Временные допустимые нормативы, Бк/кг
Радиоизотопы йода ^{a)}	Вода и напитки	300 (100 для детей)
	Молоко ^{b)}	
	Овощи, исключая зерновые, клубневые и корни	2000
	Продукты рыболовства ^{b)}	
Радиоизотопы цезия ^{c)}	Вода и напитки	200
	Молоко	
	Овощи ^{d)}	500
	Крупы ^{e)}	
	Мясо, яйца, продукты водного происхождения и иные продукты питания ^{ж)}	
Уран	Детское питание	20
	Вода и напитки	
	Молоко	
	Овощи	100
	Крупы	
	Мясо, яйца, продукты водного происхождения и иные продукты питания ^{з)}	
Плутоний и иные трансурановые альфа-излучающие радионуклиды	Детское питание	1
	Вода и напитки	
	Молоко	
	Овощи	10
	Крупы	
	Мясо, яйца, продукты водного происхождения и иные продукты питания	

Примечание:

^{a)} Имеется в виду активность ¹³¹I как индикатора, но с учетом вклада в дозу ¹³²I, ¹³³I, ¹³⁴I, ¹³⁵I и ¹³²Te.

^{b)} Имеются в виду все виды молока, включая, материнское молоко, молочные продукты ежедневного употребления.

^{b)} Включая рыбу, устрицы, мидии, креветки и прочие продукты рыболовства.

^{c)} Имеется в виду суммарная активность ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs, но с учетом вклада в дозу ⁸⁹Sr и ⁹⁰Sr.

^{d)} Включая грибы, фрукты, съедобные водоросли и корни, зерновые, клубни и корнеплоды.

^{e)} Включая рис и все виды круп.

^{ж)} Включая мясо птиц.

^{з)} «Иные продукты питания» подразумевают те продукты, которые не попали в перечень перечисленных выше. При этом необходимо иметь в виду, что временные нормативы по радиоактивному йоду не относятся к крупам, мясу, яйцам, зерновым, клубням и корням, а также к «иным продуктам питания»

Таблица 2

**Временные допустимые нормативы на продукты питания, действующие с 1 апреля 2012 г.
(только для радиоизотопов цезия) [1, 2]**

Категория	Временные допустимые нормативы, Бк/кг ^{a)}
Вода и напитки	10
Молоко	50
Продукты питания ^{b)}	100
Детские продукты питания	50

Примечание:

^{a)} Нормативы объявлены 15 марта 2012 г. и действуют с 1 апреля 2012 г. Обозначенные удельные активности определены исходя из не превышения эффективной годовой дозы внутреннего облучения 1 мЗв/год, учитывая вклад в дозу ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁸Pu, ^{239,240}Pu, ²⁴¹Pu, ¹⁰⁶Ru.

^{b)} Здесь под термином «продукты питания» подразумеваются все виды продуктов питания, исключая продукты питания для детей, молоко, воду и напитки

Питьевая (водопроводная) вода и напитки.

Временные допустимые нормативы для первого года были превышены в питьевой водопроводной воде по радиоизотомам йода в период с 16 по 22 марта 2011 г. [1, 2]. Превышение ВДН по радиоизотомам цезия не было установлено. Максимальные зарегистрированные уровни составили 965 Бк/кг по ¹³¹I в образцах питьевой воды, полученных из префектуры Фукусима 20 марта 2011 г. В водных напитках превышение ВДН не установлено. В основном ограничения в употреблении загрязненной ¹³¹I водопроводной воды были

начаты через 6 дней после первого обнаружения превышения предела 100 Бк/кг (в префектуре Фукусима эти ограничения были введены через 2 дня после первого обнаружения превышения ВДН). Длительность ограничений в употреблении питьевой водопроводной воды детьми продолжалась 51 сут в населенном пункте Иитате (для остальных возрастных групп 12 сут), 4–12 сут в прочих населенных пунктах префектуры Фукусима и 1–4 сут в иных префектурах после первого обнаружения превышения ВДН.

Свежее молоко. Превышение ВДН в свежем молоке по радиоизотопам йода (более 100 Бк/л) было установлено в период с 16 по 22 марта 2011 г. [1, 2]. Превышение норм по радиоизотопам цезия не было обнаружено. Максимальные удельные активности ^{131}I (5300 Бк/кг, измерения 20 марта 2011 г.) и ^{137}Cs (420 Бк/кг, измерения 19 марта 2011 г.) были установлены в образце молока из префектуры Фукусима. Ограничения в употреблении свежего молока были введены в префектуре Фукусима в пределах 6 сут после того, как впервые было обнаружено превышение удельной активности ^{131}I в молоке. Начиная с 23 марта 2011 г. превышения этого уровня не наблюдались, однако ограничения продолжались и в последующие два месяца — из предосторожности. В префектуре Ибараки превышений ВДН не было отмечено.

Материнское молоко. Удельные активности радионуклидов были измерены в 513 пробах материнского молока в период с 16 марта до 14 ноября 2011 г. (включая часть проб, отобранных в различные сроки после аварии у одних и тех же матерей) [1, 2]. Образцы поступили из префектур Фукусима, Мияги, Ибараки, Тотиги, Гумма, Сайтама, Тиба, Токио и Канагава. Максимальные уровни активности радиоизотопов йода составляли 36,3 Бк/кг в образцах от 29 марта 2011 г. из префектуры Тиба и 31,8 Бк/кг от 23 марта 2011 г. из префектуры Ибараки. В последующем активности радиоизотопов йода в пробах молока у этих же матерей уменьшились до уровней 4,8 Бк/кг (к 4 апреля 2011 г.) и 8,5 Бк/кг (к 30 марта 2011 г.), соответственно. Уровни активности радиоизотопов цезия были ниже 15 Бк/кг во всех пробах, отобранных в указанных выше префектурах.

Овощи и растительные продукты [1, 2]. Для категории «овощи», обозначенной в табл. 1 (включая примечания), превышение ВДН по радиоизотопам йода было зарегистрировано в период с 18 марта до 11 апреля 2011 г., а по радиоизотопам цезия — в период с 18 марта 2011 г. до 26 марта 2012 г. Максимальный уровень загрязнения по ^{131}I (54100 Бк/кг) был выявлен в образцах шпината, отобранных в префектуре Фукусима 18 марта 2011 г. Максимальный уровень загрязнения по ^{137}Cs (82000 Бк/кг, 21 марта, префектура Фукусима) был в культивируемой капусте полевой (Kukitachina). Все ограничения на употребление свежих овощей в префектуре Фукусима были введены в пределах 18 сут после обнаружения превышений ВДН. В остальных префектурах ограничения были введены в действие в пределах 19–73 сут после первого обнаружения превышения ВДН.

Превышение ВДН в свежих грибах по радиоизотопам йода было зарегистрировано с 1 по 14 апреля 2011 г., а по радиоизотопам цезия — с 1 апреля 2011 г. до 26 марта 2012 г. Максимальная удельная активность ^{131}I была выявлена 8 апреля в культивируемых образцах грибов шиитакэ из префектуры Фукусима (12000 Бк/кг), а максимальная удельная активность ^{137}Cs (28000 Бк/кг) была зарегистрирована в пробах этих грибов 1 сентября 2011 г., отобранных в той же префектуре. Ограничения в употреблении всех видов культивируемых и диких грибов были введены в течение 82 сут после первого обнаружения превышения ВДН.

Превышение ВДН в фруктах и орехах были выявлены только для радиоизотопов цезия (но не йода) в период с 26 мая 2011 г. по 5 января 2012 г. Максимальная зарегистрированная удельная актив-

Таблица 3

Эффективные дозы суммарного облучения (внешнее плюс внутреннее облучение) ликвидаторов, работавших непосредственно на территории АЭС Фукусима-1 в различные месяцы после аварии в период с 11 марта по 31 августа 2011 г. [4]

Диапазон эффективных доз внешнего облучения всего тела, мЗв	Количество ликвидаторов, работавших на территории АЭС в различные месяцы, начиная с 11 марта 2011 г. (указано количество ликвидаторов в каждом дозовом диапазоне и общее их количество)					
	март	апрель	май	июнь	июль	август
>250	6	0	0	0	0	0
200 – <250	3	0	0	0	0	0
150 – <200	15	0	0	0	0	0
100 – <150	113	0	0	0	0	0
50 – <100	501	38	2	0	0	0
20 – <50	1147	498	208	96	56	0
10 – <20	958	615	498	193	186	21
<10	999	2463	2332	1863	1880	1006
Всего человек	3742	3614	3040	2152	2122	1027
Максимальная доза	672,27	96,53	50,72	40,62	39,38	18,72
Средняя доза	29,34	9,14	6,61	4,53	3,67	1,53

ность по ^{137}Cs равна 2400 Бк/кг (24 августа 2011 г.). Ограничения в употреблении фруктов и орехов были введены в течение 27 сут после первого обнаружения превышения ВДН.

Мясо. Отбор проб мяса был начат в период с 15 по 20 марта 2011 г. в префектурах Фукусима и Ибараки [1, 2]. Уже 31 марта (проба мяса от 15 марта 2011 г.) была зарегистрирована удельная активность ^{137}Cs 510 Бк/кг. Однако дальнейшие измерения проб мяса из той же фермы не показали превышений ВДН в этот ранний период после аварии. 8 июля 2011 г. было обнаружено, что в образцах мяса скота из префектуры Фукусима имели место превышения ВДН. Максимальная удельная активность радиоизотопов цезия в мясе была равна 2300 Бк/кг. Результаты мониторинга, датируемые 2 сентября 2011 г., также показали превышение ВДН. Ограничения в употреблении загрязненного мяса были введены в действие 19 июля 2011 г. в префектуре Фукусима, а несколько позднее — в префектурах Мияги, Иватэ и Тотиги. Загрязненное мясо, которое уже поступило в продажу, было отозвано из торговых точек, однако большое его количество (от скота, забитого до июня 2011 г.) оказалось уже распроданным. Превышения ВДН по мясу (только радиоизотопы цезия) продолжались до 21 марта 2012 г. В этот период максимальный уровень загрязнения мяса (3400 Бк/кг по радиоизотопам цезия) был зарегистрирован в образце, поступившем из префектуры Фукусима от скота, забитого 30 июня 2011 г. Повсеместные ограничения на употребление загрязненного мяса были начаты в пределах 112 сут после обнаружения первых проб мяса с превышением ВДН.

Мясо диких животных. ВДН в мясе диких оленей, кабанов, медведей, кроликов и птиц (по радиоизотопам цезия, но не йода) были превышены в префектурах Фукусима, Ибараки, Тотиги, Иватэ и Ямагата в период с 3 июля 2011 г. по 11 марта 2012 г. [1, 2]. Максимальный уровень загрязнения (14600 Бк/кг по радиоизотопам цезия) был зарегистрирован в образцах мяса кабана, отобранных в префектуре Фукусима 5 сентября 2011 г. Все ограничения по употреблению загрязненного мяса диких животных были введены в течение 154 дней после обнаружения первого превышения ВДН.

Крупы. Были предприняты очень серьезные ограничения и регулирующие правила в период до сбора урожая риса и после сбора урожая риса. Тем не менее, в префектуре Фукусима в период с 14 ноября 2011 г. и по 3 февраля 2012 г. были зафиксированы превышения ВДН по радиоизотопам цезия (но не йода) в пробах коричневого риса [2]. Максимальный уровень удельной активности в образцах коричневого риса

равен 1540 Бк/кг (22 декабря 2011 г.). Однако в образцах шлифованного риса превышение ВДН не было установлено. Следует отметить, что превышение ВДН было выявлено также в одной пробе пшеницы (19 июля 2011 г.).

Иные виды продуктов. Превышение ВДН в листовых растениях, употребляемых населением, имели место в период с 9 мая по 9 ноября 2011 г. (только по радиоизотопам цезия, но не йода) [1, 2]. Максимальная концентрация активности радионуклидов цезия (3000 Бк/кг) была зафиксирована в пробах сухого чая из префектуры Канагава (образцы были собраны 12 мая 2011 г.). Все ограничения по употреблению иных продуктов питания были введены в пределах 38 дней после того, как впервые было определено превышение ВДН. В префектуре Фукусима ограничения действовали в течение 20 дней, несмотря на то, что превышений ВДН не было обнаружено. Ограничения продолжались в префектурах Ибараки, Тотиги, Гумма и Тиба, начиная с 1 июня 2011 г., 12 июля 2011 г., 1 августа 2011 г. и 24 августа 2011 г., соответственно, только из предосторожности, поскольку превышений ВДН в этих префектурах не было обнаружено. Тем не менее, в префектуре Сайтама, где превышения ВДН были выявлены в 127 пробах (с 10 августа по 9 ноября 2011 г.), ограничения не были реализованы.

Морепродукты. Морепродукты являются одним из важнейших компонентов пищевого рациона в Японии. Информация о загрязнении морепродуктов может представлять интерес и для их потребителей в России. Обзор данных о загрязнении морской воды и донных осадков представлен в нашем сообщении 1.

Донные осадки являются начальным звеном в пищевой цепочке морепродуктов. Данные о радиоактивном загрязнении морепродуктов были представлены на сайте Министерства земледелия, лесоводства и рыболовства Японии (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan — MAFF) [3].

Водоросли — зеленые, красные (Нори), коричневые (Комбу) — являются важным компонентом пищевого рациона в Японии. Снижение концентрации ^{131}I в водорослях следует периоду его полураспада (8 дней) и уменьшению содержания в воде. К августу 2011 г. концентрация ^{131}I в водорослях повсеместно была менее детектируемого уровня (6 Бк/кг).

Удельная активность радионуклидов, содержащаяся в моллюсках, креветках, мидиях, морских улитках и кальмарах, в подавляющем количестве проб не превышала уровень ВДН [1]. Исключением являлись несколько единичных проб, в которых были обнаружены превышения по радиоизотопам цезия в мае—июне 2011 г.: 650 Бк/кг и 820 Бк/кг в креветках (16 мая 2011 г.), 940 Бк/кг (28 мая 2011 г.) и 610 Бк/кг

(6 июня 2011 г.) в двустворчатых моллюсках, 1930 Бк/кг (19 июня 2011 г.) в японском крабе. Активность ^{131}I во всех этих морепродуктах к началу июня 2011 г. была менее детектируемого уровня (6 Бк/кг).

Превышение ВДН у прибрежных рыб (не мигрирующих в океане), было обнаружено в период с 1 по 18 апреля 2011 г. по радиоизотопам йода и с 14 апреля 2011 г. по 19 марта 2012 г. и по радиоизотопам цезия. Максимальная удельная активность (12000 Бк/кг по йоду и 14400 Бк/кг по цезию) была выявлена у тихоокеанских песчанок, выловленных у берегов префектуры Фукусима 13 апреля 2011 г. и 18 апреля того же года. Для этого вида рыб был установлен запрет на употребление. Начиная с 3 мая 2011 г., превышений ВДН не было обнаружено для этого вида рыб, тем не менее, запрет на их употребление был продолжен.

Что касается пресноводных рыб, то превышение ВДН было установлено только по радиоизотопам цезия в период с 8 мая 2011 г. по 29 марта 2012 г. Максимальная удельная активность (18700 Бк/кг по радиоизотопам цезия) была выявлена 18 марта 2011 г. в префектуре Фукусима. Ограничения в употреблении пресноводных рыб были установлены только в префектуре Фукусима в пределах 51 дня после того, как первое превышение ВДН было выявлено.

Дозы облучения

Персонал, привлеченные специалисты. Согласно информации Tokyo Electric Power Company (TEPCO) от 31 октября 2011 г. [4] и в соответствии с докладом Правительства Японии [5], в марте 2011 г. 3742 человека (персонал станции и работающие по контракту — далее для них будет использоваться термин «ликвидаторы» аварии) приняли участие в работах на территории АЭС Фукусима-1 (промплощадке) по удержанию аварийной ситуации под контролем и максимально возможному уменьшению ее негативных последствий. В последующие месяцы (с апреля по август 2011 г.) на промплощадке работали от 3614 до 1027 ликвидаторов. Несмотря на то, что в результате цунами произошло повреждение основной автоматизированной системы индивидуального радиационного контроля персонала, альтернативный контроль был налажен в сжатые сроки и сосредоточен в здании, устойчивом от землетрясений. Записи проводили вручную, с последующим введением информации в компьютерную базу данных. С 14 апреля система автоматического контроля индивидуальной радиационной безопасности ликвидаторов и персонала была восстановлена. С самого начала аварии ликвидаторов устно инструктировали о мерах радиационной безопасности, они были снабжены всеми необходимыми средствами радиационной защиты (данные о принятии препаратов стабильного йода

ликвидаторами отсутствуют — это было бы необходимым для блокировки поступления радиоактивных изотопов йода в щитовидную железу). 17 марта 2011 г. был образован специальный центр (J Village) с целью подготовки, инструктажа, снабжения всеми необходимыми средствами радиационной защиты и персонального радиационного контроля ликвидаторов.

В результате землетрясения и цунами большое количество имевшихся стандартных устройств индивидуального дозиметрического контроля было повреждено. Поэтому оценки доз внешнего облучения производили с помощью приборов различных типов. Оценка доз внутреннего облучения была затруднена из-за того, что стационарные установки — спектрометры излучений человека (СИЧ) находились в условиях очень высокого радиоактивного загрязнения. Поэтому были мобилизованы передвижные установки СИЧ с тем, чтобы обеспечить возможность проведения измерений в условиях более низкого фонового облучения. Эффективные дозы суммарного облучения (внешнее плюс внутреннее облучение) всего тела ликвидаторов, работавших непосредственно на территории (промплощадке) АЭС Фукусима-1 в период с 11 марта по 31 августа 2011 г., приведены в табл. 3. Дозиметрическая информация была опубликована на сайте TEPCO [4]. К сожалению, эта информация не содержит сведений о типах использованных СИЧ, об активностях измеренных радионуклидов, в частности, о содержании радиоизотопов йода в щитовидной железе. Данные о дозах внутреннего облучения щитовидной железы радиоизотопами йода также не представлены. Между тем, как сообщается в публикациях [6, 7] (см. ниже), дозы внутреннего облучения щитовидной железы у ликвидаторов могут достигать весьма значимых величин (≥ 5 Зв).

Как следует из табл. 3, у шести ликвидаторов эффективные дозы облучения в марте 2011 г. превысили 250 мЗв (это установленная предельно-допустимая эффективная доза для персонала в аварийной ситуации) [4]. Максимальная зарегистрированная доза была равна 672 мЗв. У трех человек, которые работали с электрическими кабелями на первом этаже и на фундаменте (basement) турбинного здания третьего блока АЭС, произошел контакт стоп ног с загрязненной радиоактивной водой. Было сделано предположение о значимом локальном облучении кожи стоп бета-излучением [4, 5]. 25 марта 2011 г. все три ликвидатора были доставлены в Национальный институт радиологических наук (NIRS). Результаты оценок доз показали, что локальное облучение кожи стоп не превышает 2–3 Зв. 11 апреля 2011 г. эти ликвидаторы прошли медицинское обследование. Нарушений здоровья не было обнаружено. Начиная с августа 2011 г.,

суммарные эффективные дозы облучения всего тела ликвидаторов были менее 20 мЗв (табл. 3).

Данные измерений активности ^{131}I в щитовидной железе, ^{134}Cs и ^{137}Cs во всем теле у семи работников ТЕРСО и восьми сотрудников Национального центра радиологических исследований (NIRS) представлены в работе [8]. Компания ТЕРСО запросила NIRS обследовать тех своих сотрудников, для которых были установлены величины эффективных доз более 200 мЗв, а обследованные сотрудники NIRS входили в группу персонала, направленного на территорию вблизи АЭС для оценки радиологической ситуации в ранние сроки после аварии (март 2011 г.). Измерения активности ^{131}I в щитовидной железе и ^{134}Cs и ^{137}Cs во всем теле персонала ТЕРСО были начаты 30 мая 2011 г., закончены 6 июля 2011 г. (по ^{131}I) и 16 февраля 2012 г. (по ^{134}Cs и ^{137}Cs). Для щитовидной железы использовали полупроводниковый детектор из высокочистого германия (LX-70450/30P, ORTEC) со свинцовым коллиматором. Для измерений активности во всем теле применяли две установки СИЧ горизонтального типа со сцинтилляционными детекторами NaI(Tl). По результатам серии последовательных измерений было установлено, что средний эффективный период полувыведения ^{131}I из щитовидной железы обследованных равен 7,8 сут, ^{134}Cs и ^{137}Cs — 92,1 и 104,2 сут соответственно (погрешности не приведены). Это вполне соответствует биокинетическим моделям МКРЗ (ICRP Publication 67). На момент начала измерений индивидуальные активности ^{131}I в щитовидной железе работников ТЕРСО находились в пределах от 58 Бк до 4,67 кБк, а активности ^{134}Cs и ^{137}Cs — от 3,71 кБк до 118 кБк и от 4,30 кБк до 127 кБк соответственно. Данные об эффективных дозах внутреннего и эквивалентных дозах облучения щитовидной железы не приведены. Отмечается, что для таких оценок необходимо уточнение сценариев поступления активности в организм в соответствии с данными об индивидуальной деятельности обследуемых и предпринятых защитных мерах, что предполагается сделать в будущем. Что касается сотрудников NIRS, находившихся вне АЭС в пределах зоны 20 км, то в период измерений (март 2011 г.) индивидуальные активности ^{131}I в щитовидной железе находились в пределах от 33 Бк до 124 Бк, а активности ^{134}Cs и ^{137}Cs — от 670 до 1200 Бк. Максимально возможная эффективная доза внутреннего облучения для этой группы обследованных была оценена как 0,1 мЗв. Сделан вывод, что результаты, полученные на ограниченной выборке сотрудников NIRS (восемь человек), могут свидетельствовать, что население, эвакуированное из зоны 20 км в ближайшие сроки после аварии, также не подверглось существенному внутреннему облучению.

В январе 2013 г. были опубликованы работы японских специалистов о результатах измерений содержания активности ^{131}I в щитовидной железе и ^{137}Cs , ^{134}Cs во всем теле у ликвидаторов аварии на АЭС Фукусима-1 [6, 7]. Измерения были выполнены в Национальном центре радиологических исследований (NIRS, Тиба) по просьбе ТЕРСО. В первую очередь (с 20 апреля по 17 июня 2011 г.), по мере поступления, обследовали 39 человек, затем обследовали еще 521 человека — в период 18 июля по 5 августа 2011 г. Использовали два типа установок: а) СИЧ в геометрии «кресло» с двумя полупроводниковыми детекторами из сверхчистого германия, один из которых находился напротив шеи обследуемого; б) СИЧ вертикального типа (Fastscan, Canberra Inc.) с двумя большими сцинтилляционными детекторами NaI(Tl). Были зарегистрированы радионуклиды ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs . Оценки доз внутреннего облучения были сделаны в предположении сценария только однократного ингаляционного поступления радионуклидов 12 марта 2011 г. Судя по представленным графическим данным, у четырех обследованных из первой группы (39 человек) эффективные дозы облучения были оценены как превышающие 250 мЗв (у одного человека максимальная доза составила 590 мЗв). Еще у четырех лиц из первой группы эффективные дозы были оценены в пределах от 100 до 250 мЗв. У 12 человек величина эффективной дозы находилась в пределах от 20 до 100 мЗв, у остальных была ниже 20 мЗв. Для лиц с наибольшими дозами из первой группы обследованных эффективная доза от внутреннего облучения за счет ^{131}I составляет около 99 % от величины суммарной эффективной дозы от ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs . Отмечено, что эквивалентная доза в щитовидной железе должна быть приблизительно в 20 раз больше эффективной дозы внутреннего облучения. Следовательно, для 20 человек из 39 обследованных (первая группа) эквивалентные дозы облучения щитовидной железы должны находиться в пределах от ~0,4 до ≥ 5 Зв. Данные о дозах облучения обследованных лиц из второй группы не приведены. Неопределенности оценок доз также не приведены. Представленные результаты не являются окончательными, поскольку при их обсуждении авторы работ [6, 7] резервируют возможность пересмотра доз с учетом результатов дополнительных исследований вклада короткоживущих ^{132}I , ^{133}I , ^{132}Te в облучение щитовидной железы, а также с учетом более реалистичного сценария поступления радионуклидов в организм.

В работе [9] представлены данные измерений и оценок эффективных доз внутреннего облучения 50 человек из числа персонала Японского агентства по атомной энергии (JAEA), сотрудников лаборатории, находящейся в Токай-мура (около 100 км на

юг от аварийной АЭС). Эти специалисты приняли участие в радиологическом мониторинге вокруг аварийной станции (в период с 12 марта по 11 апреля 2011 г.). Места их нахождения, даты и длительность работ были различными. Часть из них находилась с 12 по 14 марта на пункте внешнего радиологического мониторинга в населенном пункте Окума (5 км на запад от АЭС), другая часть располагалась в командном пункте в г. Фукусима (60 км на запад от АЭС), начиная с 16 марта. Оттуда они перемещались в 20–50 км зону вокруг АЭС для проведения радиологического мониторинга. В период с 7 апреля по 11 апреля 2011 г. еще одна команда специалистов проводила работы в г. Фукусима.

Все командированные были снабжены персональными дозиметрами, однако они не использовали защитные маски и не принимали препараты со стабильным йодом (в профилактических целях). По возвращению персонала в лабораторию Токаймура были проведены измерения на спектрометре излучения всего тела (в период с 28 марта по 28 апреля). Использовали СИЧ вертикального типа (Fastscan, Canberra Inc.) с двумя большими сцинтилляционными детекторами NaI(Tl). Калибровку СИЧ проводили с применением физического фантома СТВ (Canberra Transfer Phantom) с последующим применением фантома BOMAB (BOttle Mannequin ABsorber) для верификации результатов калибровки. Для каждого обследованного проводили однократные измерения. Оценку активности ^{131}I в щитовидной железе с использованием коллимированного детектора, располагаемого вблизи шеи, не удалось провести, что не позволило оценить дозы облучения щитовидной железы.

Расчет эффективной дозы внутреннего облучения выполнен в предположении однократного ингаляционного поступления радионуклидов в первый день начала работы персонала на месте. Отмечается, что такого рода предположение должно привести к консервативной (завышенной) оценке величины дозы. Получены следующие результаты. Максимальные величины индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения в различных группах обследованных, работавших в префектуре Фукусима в разные периоды времени, находились в пределах от 0,39 до 0,8 мЗв. Средние эффективные дозы в этих же группах находились в пределах от 0,05 до 0,39 мЗв. Авторы работы [9] отмечают, что полученные данные могут быть полезными для будущей реконструкции доз внутреннего облучения у населения, находившегося в префектуре Фукусима в период аварии.

Опубликованная в 2013 г. работа [10] посвящена оценке доз внутреннего облучения щитовидной железы и всего тела у групп лиц (173 взрослых челове-

ка), находившихся в префектуре Фукусима в пределах одного месяца после аварии на АЭС. Часть из этих лиц находилась в префектуре по служебным делам, связанным с оказанием помощи населению, пострадавшему от землетрясения, цунами и радиационной аварии, а часть из них была жителями, эвакуированными после аварии. Никто из указанных лиц не принимал препараты со стабильным йодом для профилактических целей. Измерения проводили с 15 марта 2013 г. в Медицинской школе Университета Нагасаки. Использовали расположенный в экранированной камере горизонтальный сканирующий спектрометр всего тела человека с двумя сцинтилляционными NaI(Tl) детекторами. Для калибровки СИЧ применяли физический фантом BOMAB. Обследованные были разделены на 4 группы с различными периодами пребывания в префектуре Фукусима (см. табл. 4). Зарегистрировано наличие в организме радионуклидов ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs . У одного человека, который находился в 50 км на юг от АЭС до 15 марта 2011 г. (измерения проведены 16 марта 2011 г.), помимо ^{131}I были зарегистрированы также короткоживущие ^{132}I и ^{132}Te . Поскольку реальная кинетика поступления активности в организм обследуемых не была известна, то расчет доз внутреннего облучения проводили в предположении двух сценариев: однократное респираторное поступление активности в первый день пребывания в префектуре Фукусима и однократное респираторное поступление в последний день пребывания в префектуре. Предполагали, что первый сценарий приведет к завышению дозы, а второй сценарий — к ее недооценке. Исходили из того, что истинная величина дозы должна быть заключена в пределах дозовых оценок по этим двум сценариям. Точные места нахождения, маршруты, перемещения обследуемых в пределах префектуры не учитывали при расчетах доз облучения, по всей видимости, из-за недостатка соответствующей индивидуальной информации (имеются только примеры). Результаты оценок доз представлены в табл. 4. Только для одного человека из обследованных лиц максимальная эффективная доза внутреннего облучения всего тела была оценена несколько превышающей 1 мЗв [10]. У этого же человека максимальная эквивалентная доза внутреннего облучения щитовидной железы была оценена как 20,04 мЗв. Оценки неопределенностей доз не приведены.

Пожарные. Для пожарных, работающих в пределах 20-километровой зоны, главной штаб-квартирой пожарной охраны были установлены следующие пределы эффективной дозы облучения: 100 мЗв однократно для операций, связанных со спасением жизни, и 100 мЗв в сумме в течение 5 лет (но не более 50 мЗв в год) для иных работ в пределах зоны 20 км

Таблица 4

Эффективные дозы внутреннего облучения всего тела (с учетом излучения от ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs) и эквивалентные дозы облучения щитовидной железы у 173 обследованных лиц [10]

Периоды пребывания в префектуре Фукусима в 2011 г.	Количество обследованных	Интервал оцененных значений эффективных доз внутреннего облучения (вклад от ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs), мЗв	Оценка максимальных значений индивидуальных эквивалентных доз внутреннего облучения щитовидной железы, мЗв
11–18 марта	45	0,0011–1,039	20,04
14–22 марта	66	0,0012–0,0068	1,79
18–31 марта	31	0,0012–0,0578	1,10
22 марта – 10 апреля	31	0,0009–0,0855	1,36

[5]. Пожарные были снабжены защитной одеждой и масками, а также индивидуальными накапливающими дозиметрами с уровнями тревожной сигнализации 30–50 мЗв. По состоянию на 31 мая 2011 г. ни у кого из пожарных не было выявлено доз облучения свыше установленных пределов. Данные о проведении профилактики препаратами стабильного йода не приводятся.

Силы самообороны. Для служащих сил самообороны, работающих в пределах 30-километровой зоны, был установлен предел эффективной дозы облучения, равный 50 мЗв, за исключением женщин, для которых был установлен предел 5 мЗв за трехмесячный период [5]. Для неизбежных операций по спасению жизни предел эффективной дозы облучения был установлен в 250 мЗв (участие женщин исключалось). По состоянию на 31 мая 2011 г. у служащих сил самообороны не было выявлено доз облучения свыше установленных пределов. Данные о проведении профилактики препаратами стабильного йода не приводятся.

Население. Консервативные оценки накопленных за 50 лет эффективных доз облучения населения представлены в докладе правительства Японии [5]. Они выполнены по методологии МАГАТЭ, предназначенной для оценки доз облучения при аварийных ситуациях с целью принятия решений, исходя из того, что население постоянно находится на территориях проживания с максимальными уровнями радиоактивного загрязнения. Очевидно, что это весьма и весьма консервативные (т.е. завышенные) дозы облучения, поскольку в реальности население было эвакуировано из зоны 20 км в ранние сроки от начала аварии. Тем не менее, эти оценки представляют интерес как максимально возможные накопленные дозы облучения населения (табл. 5).

В работе [11], присланной в редакцию 26 августа 2011 г. и опубликованной 10 февраля 2012 г., отмечено, что правительство Японии и местные ответственные лица в области здравоохранения (local health authorities) начали сбор информации, необходимой для оценки индивидуальных доз облучения населения, наметили планы по наблюдению за состоянием

Таблица 5

Результаты консервативной оценки эффективной накопленной дозы для населения за период 50 лет согласно методике МАГАТЭ (учтены дозы внешнего облучения и дозы внутреннего облучения за счет ингаляции) [5]

Радионуклид	Период полураспада	Плотность загрязнения почвы, для которой проведена консервативная оценка эффективной накопленной дозы за 50 лет, Бк/м ² *	Результат консервативной оценки эффективной накопленной дозы за 50 лет, мЗв	Эффективная накопленная доза в расчете на единицу плотности загрязнения почвы, мЗв/(кБк/м ²)
^{134}Cs	2,065 года	$1,4 \times 10^7$	71	$5,1 \times 10^{-3}$
^{137}Cs	30,167 лет	$1,5 \times 10^7$	2000	$1,3 \times 10^{-1}$
^{131}I	8,02 суток	$5,5 \times 10^4$	0,015	$2,7 \times 10^{-4}$
^{89}Sr	50,53 суток	$2,2 \times 10^4$	0,00061	$2,8 \times 10^{-5}$
^{90}Sr	28,79 лет	$5,7 \times 10^3$	0,12	$2,1 \times 10^{-2}$
^{238}Pu	87,7 лет	4,0	0,027	6,6
$^{239+240}\text{Pu}$	$2,411 \times 10^4$ лет	15,0	0,12	8,5
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249,95 суток	$8,3 \times 10^4$	3,2	$3,9 \times 10^{-2}$
$^{129\text{m}}\text{Te}$	33,6 суток	$2,7 \times 10^6$	0,6	$2,2 \times 10^{-4}$
Суммарно			2075	—

Примечание:

* Данные приведены по состоянию на 14 июня 2011 г.

здоровья населения и начали выполнять некоторые из этих планов. Автор работы [11] подчеркивает, что оценки индивидуальных доз необходимы не только для радиационно-эпидемиологических исследований, но и для информирования населения об уровнях облучения, поскольку отсутствие адекватной дозиметрической информации может привести к нежелательным психологическим последствиям, вызванным состоянием длительной тревоги и психологического стресса. Совет по науке Японии (Japan Science Council) 4 апреля 2011 г. объявил о необходимости исследований индивидуальных уровней облучения населения [12]. Отмечается, что в ранний период после аварии на АЭС Фукусима-1 индивидуальные дозиметрические обследования населения не были выполнены вовремя и в полной мере из-за сложной обстановки после землетрясения, цунами и аварии [12]. Не случайно, что последовательно, в 2012 г. и в 2013 г. были проведены крупные международные конференции под эгидой Национального центра радиологических исследований (NIRS), посвященные проблемам оценок доз облучения населения в ранний период после аварии на АЭС Фукусима-1 [13, 14].

11 марта 2011 г., в 21:33 по японскому времени, правительство Японии [5] издало распоряжение об эвакуации населения из 3-км циркулярной зоны вокруг АЭС Фукусима-1. В 05:44 12 марта 2011 г. было издано второе распоряжение об эвакуации из 10-км зоны, а в 18:25 этого же дня — об эвакуации из 20-км зоны. По состоянию на ноябрь 2012 г. число эвакуированных, включая добровольно уехавших и из 30-км зоны, составило около 157700 человек. Эвакуация была основной защитной мерой. Что касается иных защитных мер, таких как блокировка щитовидной железы препаратами стабильного йода, то следует отметить, что администрация префектуры Фукусима имела необходимое количество препаратов стабильного йода (около 1,51 миллионов таблеток и около 6,1 кг порошка), что даже превысило необходимое количество препарата для около 690 тыс. жителей в возрасте до 40 лет, находившихся в пределах 50-километрового радиуса вокруг АЭС [5] (численность населения префектуры Фукусима составляет около двух миллионов человек). Были даны инструкции по применению препаратов стабильного йода с необходимыми предостережениями во избежание побочных эффектов. Однако фактически препараты стабильного йода не были употреблены населением, поскольку эвакуация из 20-км зоны, начавшаяся 12 марта 2011 г., была завершена до того момента, когда все необходимые инструкции и распоряжения о йодной профилактике были даны (16 марта 2011 г.) [5]. Исключением являются власти населенных пунктов Футаба, Томиока, Михару, Иваки, расположен-

ных в префектуре Фукусима, которые распределили среди населения таблетки со стабильным йодом, не дожидаясь официальных инструкций. Поэтому не исключено, что часть жителей указанных населенных пунктов употребила эти таблетки (точная информация не приведена).

Облучение щитовидной железы. В работе [15] отмечено, что данные расчетов ожидаемых доз облучения населения, включая дозы облучения щитовидной железы, осуществляемых автоматизированной системой, предназначенной для прогноза доз (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information — SPEEDI) [16], стали доступными для специалистов и населения с запозданием — только начиная с 23 марта 2011 г. Поэтому, согласно мнению, представленному в [15], вне пределов циркулярной 30-км зоны оказались населенные пункты с высокими уровнями загрязнения: населенные пункты Иитате (около 6860 жителей, ~ 39 км на север-запад от аварийной АЭС), поселок Кавамата (около 15570 жителей, ~35 км на запад-северо-запад от АЭС Фукусима-1) с плотностью загрязнения почвы по ^{137}Cs около 9×10^2 кБк/м² и 2×10^2 кБк/м² соответственно.

В самый ранний период после аварии не удалось провести крупномасштабные измерения содержания ^{131}I в щитовидной железе и оценить соответствующие индивидуальные дозы облучения этого органа. Имеется весьма ограниченное число первичных публикаций, в которых приведены оценки доз внутреннего облучения щитовидной железы на основе результатов инструментальных измерений в ранний период.

Так, в период с 24 по 30 марта в соответствии с рекомендацией Японской комиссии по ядерной безопасности (NSC) были проведены измерения содержания ^{131}I в щитовидной железе у 1149 лиц, в том числе у 1080 детей и подростков в возрасте от 1 года до 15 лет [17–19]. Эти люди находились в городе Иваки, поселке Каватама и деревне Иитате, часть из них постоянно находилась в пределах этих населенных пунктов, а некоторые из них (ранее эвакуированные из 20-км зоны), возможно, находились до эвакуации и на более загрязненных территориях. Измерения проводили с помощью радиометров со сцинтилляционными детекторами NaI(Tl), широко используемых в Японии (TCS-161, TCS-171 и TCS-172, Hitachi-Aloka Medical). Для калибровки приборов использовали фантом щитовидной железы, содержащий стандартный раствор ^{133}Ba (энергия гамма-квантов 276 кэВ). Детектор прибора располагали в области шеи обследуемого. Для каждого обследуемого проводили однократные (по времени) измерения. Используемая методика измерений очень близка к той, что была

применена при дозиметрическом мониторинге около 30 тыс. человек в мае 1986 г. в семи районах Калужской области и на территориях Брянской области (Россия), загрязненных в результате аварии на ЧАЭС [20, 21]. Отличие заключается в том, что в постчернобыльской ситуации при оценках доз учитывали также данные специальных опросов обследованных лиц о потреблении загрязненного молока местного производства и местах пребывания на загрязненных территориях.

Из 1149 обследованных три человека были исключены из анализа, поскольку их возраст не был установлен (н.п. Иваки), еще 66 человек были исключены из анализа из-за высокого уровня мощности дозы в воздухе в местах измерений (н.п. Кавамата) [17–19]. В городе Иваки измерения проводили внутри здания центрального госпиталя. В деревне Иитате измерения проводили в здании местной администрации. Это позволяет предположить, что места измерений были частично экранированы от повышенного уровня внешнего излучения, если здания были построены из бетона или из кирпичей (однако данные о типах строений не приведены). Во время измерений индивидуальный опрос обследованных лиц, по всей видимости, не проводили, так как данные об индивидуальном поведении, перемещениях, потреблении продуктов питания не приведены. Поэтому оценку доз облучения щитовидной железы осуществляли по двум гипотетическим сценариям: 1) с ориентацией на однократное поступление радиоактивного йода

Таблица 6

Обобщенные результаты оценок эквивалентных доз облучения щитовидной железы у детей и подростков в возрасте от 1 года до 15 лет по данным измерений активности ^{131}I в органе [17–19]

Сценарий (см. текст)	Количество обследованных лиц	Диапазон индивидуальных эквивалентных доз, мЗв
1)	598	<10
	342	10 – <20
	113	20 – <30
	21	30 – <40
	3	40 – <50
	1	50 – <60
	1	60 – <70
	1	70 – <80
Средняя доза	8,6	
2)	598	<10
	448	10 – <20
	29	20 – <30
	4	30 – <40
	1	40 – <50
Средняя доза	7,3 м	

15 марта 2011 г.; 2) с ориентацией на ежедневное поступление радиоактивного йода, начиная с 12 марта 2011 г. и до дня, предшествующего моменту измерений. Учитывали только ингаляционный вариант поступления радиоактивного йода в организм. Из-за отсутствия информации о переездах обследуемых предполагали, что обследованные лица постоянно находились в тех населенных пунктах, где проводили измерения. Предполагали также отсутствие таких защитных мер, как прием таблеток стабильного йода.

Обобщенные результаты проведенных таким образом оценок доз облучения щитовидной железы приведены в табл. 6 [17–19]. Сделано заключение [19], что по обоим сценариям у >99 % всех обследованных дозы облучения щитовидной железы были менее 30 мЗв при средних дозах 8,6 мЗв и 7,3 мЗв по первому и второму сценарию соответственно. Максимальные дозы не превысили 80 мЗв. Неопределенности оценок доз не приведены.

В работах [22, 23] приведены результаты спектрометрических измерений активности ^{131}I в щитовидной железе жителей района Цусима населенного пункта Намиэ (17 человек) и эвакуированных из прибрежной территории, включающей город Минами-сома, расположенный к северу от аварийной АЭС (45 человек). Плотность загрязнения почвы по ^{137}Cs в этих населенных пунктах составляет около $9,7 \times 10^2$ и $1,1 \times 10^2$ кБк/м² соответственно. Измерения у 62 обследованных человек были проведены в период с 12 по 16 апреля 2011 г. в университете Хиросаки. Известен возраст у 54 обследованных лиц – от 0 до 83 лет. У восьми лиц данные о возрасте не установлены. Использовали гамма-спектрометр со сцинтилляционным NaI(Tl) детектором (JSM-112, Hitachi Aloka Medical). Детектор располагали вблизи шеи обследуемых в области щитовидной железы. Для калибровки использовали фантомы щитовидной железы с водным раствором ^{131}I . Фантомы имели различный объем – 4 мл для детей и 12 мл для взрослых. Расчет эквивалентных доз в щитовидной железе проведен по результатам спектрометрии в предположении двух гипотетических сценариев – ингаляционного поступления и пищевого поступления ^{131}I (детали сценариев не приведены). Измерения были однократными по времени.

Детектируемые уровни активности ^{131}I установлены у 39 из 45 эвакуированных лиц и у 7 из 17 постоянных жителей. Расчеты доз проведены для восьми возрастных групп. Величины эквивалентных доз облучения щитовидной железы для двух сценариев поступления активности в организм близки по своей величине. Медианная доза для обследованных лиц в возрасте более 20 лет равна 3,2 мЗв, а в возрасте 0–19 лет – 4,2 мЗв (ингаляционный сценарий

поступления). Максимальные индивидуальные дозы равны 23 мЗв и 33 мЗв для детей и взрослых соответственно при ингаляционном пути поступления. Для варианта с пищевым поступлением максимальные индивидуальные дозы равны 25 мЗв (дети) и 37 мЗв (взрослые). Погрешности оценок доз не приведены.

Данные оценок доз внутреннего облучения, полученные по результатам измерений активности радионуклидов в моче 15 жителей населенных пунктов Иитате и Кавамата, приведены в работах [24]. Измерения проведены через 54 дня и 78–85 дней после радиоактивных выпадений с применением спектрометра с низкофоновым полупроводниковым германиевым детектором. Средняя эффективная доза внутреннего облучения всего тела радиоизотопами ^{134}Cs и ^{137}Cs составила 0,055 мЗв для взрослых и 0,029 мЗв для детей. На период измерений только у пяти обследованных было выявлено наличие ^{131}I в моче. Индивидуальные эквивалентные дозы облучения щитовидной железы у этих пяти лиц находятся в интервале 27–66 мЗв. Погрешности оценок доз не представлены.

В работах [15, 25] проведена независимая ретроспективная оценка доз облучения населения в н.п. Иитате, полученная на основе подворного обследования радиационной обстановки в этом населенном пункте (1768 точек измерений). Результаты оценки доз облучения щитовидной железы в н.п. Иитате следующие: для детей в возрасте одного года, в предположении только ингаляционного поступления радиоактивного йода и в предположении их постоянного нахождения вне дома (т.е. это консервативные предположения), минимальная доза облучения щитовидной железы должна быть 14 мЗв, максимальная — 55 мЗв, при средней величине 24 мЗв [15, 25]. Следует отметить, что авторы работ [15, 25] намереваются провести в ближайшем будущем индивидуальные интервью в н.п. Иитате с целью получения ретроспективных оценок индивидуальных доз облучения щитовидной железы жителей этого населенного пункта, как это было сделано в свое время в Брянской области после аварии на ЧАЭС [26].

Необходимо отметить, что представленные в работах [15, 17–19, 22–25] величины доз облучения щитовидной железы в разы меньше расчетных данных, полученных с использованием компьютерной системы SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) [16]. Согласно расчетам с использованием указанной системы (данные на 23 марта 2011 г.), при условии пребывания в обследованных населенных пунктах, прогнозируемая доза облучения щитовидной железы для ребенка в возрасте одного года, накопленная за период с 6:00 12 марта до 0:00 6 апреля 2011 г., находится в пределах от 100

до 500 мЗв. Имеющиеся расхождения подчеркивают необходимость проведения ретроспективных оценок доз облучения щитовидной железы с учетом индивидуального поведения (места нахождения, потребления продуктов питания, защитных мероприятий и т.д.) [11] с тем, чтобы выявить причины таких больших различий между расчетными и инструментальными оценками доз облучения населения.

Для сравнения следует отметить, что после радиационной аварии в Чернобыле средняя поглощенная доза в щитовидной железе жителей наиболее загрязненной радионуклидами Брянской области Российской Федерации была оценена на уровне ~0,15 Гр для детей в возрасте до 7 лет на момент аварии (при максимальной индивидуальной дозе облучения щитовидной железы ~2800 мГр) [20, 21, 26], что было ассоциировано с возникновением случаев радиационно-индуцированного рака щитовидной железы у детей и подростков, находившихся в этом возрасте на момент аварии [27, 28].

В октябре 2011 г. в префектуре Фукусима была начата программа многолетнего ультразвукового скрининга состояния щитовидной железы у лиц в возрасте от 0 до 18 лет на момент аварии [29]. К марту 2012 г. ультразвуковому обследованию было подвергнуто 38114 жителей. К сожалению, в рамках данной программы не были предприняты усилия по реконструкции доз внутреннего облучения щитовидной железы у обследованных лиц. Отсутствие данных о дозах облучения щитовидной железы радиоизотопами йода делает проблематичным интерпретацию результатов массового ультразвукового скрининга состояния щитовидной железы у жителей префектуры Фукусима, а также у эвакуированных лиц, находящихся в префектуре Фукусима и других префектурах.

Внутреннее облучение всего тела. Масштабные действия по оценке индивидуальных доз внутреннего облучения всего тела жителей префектуры Фукусимы на основе СИЧ измерений были начаты 11 июля 2011 г. [30, 31]. К сожалению, мониторинг активности ^{131}I в щитовидной железе не удалось провести, что обусловлено поздним началом измерений — через четыре месяца после аварии. Программа мониторинга выполняется Японским агентством по атомной энергии (JAEA) в соответствии с запросом правительства Японии. Сообщается о результатах двух фаз этих исследований в период с 11 июля 2011 г. по 31 января 2012 г. и в период с 1 февраля по 31 декабря 2012 г. Исследования не завершены и будут продолжены в последующие годы. Было зарегистрировано наличие радиоизотопов ^{134}Cs и ^{137}Cs . В рамках первой фазы измерения проводили в наиболее загрязненных населенных пунктах вне пределов 30-км зоны (3199 человек в Иитате, Намие, Кавамате), а также у лиц из н.п.

в пределах 30-км зоны — Футаба, Окума, Томиока, Каваучи, Нараха, Хироно, Кацурао и др. (6728 человек) с плотностью загрязнения почвы по ^{137}Cs от $0,7 \times 10^2$ до 15×10^2 кБк/м². Во второй фазе измерения были распространены и на другие населенные пункты, включая административный центр Фукусима, города Датэ, Иваки, Корияма (20258 обследованных лиц, по состоянию на 31 декабря 2012 г.). Применяли СИЧ двух типов — FASTSCANTM фирмы Canberra Inc. (вертикальная геометрия, две установки) и фирмы Aloka Co. (геометрия «кресло», одна установка) с детекторами NaI(Tl) и теневой защитой. Один СИЧ с вертикальной геометрией использовали также в передвижном варианте на борту автобуса (начиная с 22 сентября 2011 г.). Для калибровки СИЧ были применены физические фантомы двух типов — блочный фантом Canberra RMC-II и водосодержащий контейнерный фантом, разработанный JAEA. Результаты калибровки были верифицированы путем их сравнения с тремя фантомами BOMAB, соответствующими взрослому человеку, десятилетнему и четырехлетнему ребенку. Измерения были однократными по времени. По данным измерений первой фазы индивидуальные эффективные дозы внутреннего облучения оценивали по консервативному сценарию — в предположении однократного ингаляционного поступления радиоизотопов цезия 12 марта 2011 г. По результатам второй фазы исследований индивидуальные дозы облучения оценивали в предположении хронического поступления с продуктами питания (детали сценария не приведены). Данные учета индивидуального поведения, перемещений и особенностей питания отсутствуют. Погрешности величин индивидуальных доз не приведены. Результаты первой фазы исследований показали, что у 99,8 % из 9927 обследованных эффективные дозы внутреннего облучения составили менее 1 мЗв (9905 человек), у 12 человек дозы были в пределах от 1 мЗв до 2 мЗв, у 2 человек — от 2 мЗв до 3 мЗв. Максимальные дозы составили 3 мЗв (2 человека). Отмечено, что дозы свыше 1 мЗв были установлены, в основном, у детей (21 человек). Результаты второй фазы исследований показали, что из 20258 обследованных у 20257 человек эффективные дозы внутреннего облучения всего тела составили менее 1 мЗв (оценка доз по сценарию хронического поступления активности с продуктами питания), и только у 1 человека доза составляет 1 мЗв.

Наиболее массовые измерения активности радиоизотопов цезия в организме жителей с использованием СИЧ были организованы администрацией префектуры Фукусима. Соответствующие данные (на японском языке) представлены на официальном сайте префектуры [32]. Измерения были начаты 23 июня 2011 г. К этому времени регистрация активности ^{131}I в

организме не была возможна из-за короткого периода полураспада этого радионуклида. К 25 апреля 2013 г. были представлены результаты оценок эффективных доз внутреннего облучения по результатам измерений ^{134}Cs и ^{137}Cs у 127163 человек. Информация об измеренных активностях, используемой аппаратуре и возрастной структуре обследованных лиц отсутствует. Неизвестно также — имеются ли среди обследованных лица с систематическими по времени измерениями активности радионуклидов во всем теле. Данные о дозах облучения приведены для двух различных категорий в зависимости от принятых сценариев расчетов индивидуальных доз. Для первой категории (лица, обследованные за период до конца января 2012 г.) был принят сценарий однократного ингаляционного поступления активности в марте 2011 г. Вторую категорию составили жители префектуры, обследованные с начала февраля 2012 г. Для них был принят сценарий постоянного ежедневного поступления активности в организм. По всей видимости, данные о реальных путях поступления радионуклидов в организм, а также о перемещениях обследованных (включая эвакуацию), не учтены, либо же отсутствуют. Очевидно, что для получения таких данных необходимо заполнение специальных индивидуальных опросников для каждого обследованного лица. Из всего количества обследованных для двух человек максимальная эффективная доза внутреннего облучения составила 3 мЗв, для 10 человек — от 2 до 3 мЗв, для 14 человек — от 1 до 2 мЗв. У остальных 127137 человек эффективная доза внутреннего облучения всего тела была оценена меньшей 1 мЗв. Информация о погрешностях величин доз не приведена.

Информация об используемой аппаратуре и результатах измерений на СИЧ активности ^{134}Cs и ^{137}Cs в организме 32811 жителей префектуры Фукусима приведена в работе [33] (эти данные не включают в себя результаты, представленные на сайте администрации префектуры Фукусима [32]). Измерения были проведены в центральном госпитале н.п. Хирата (45 км на юго-запад от аварийной АЭС) с использованием СИЧ типа Fastscan Model 2251 (Canberra Inc.) при минимально детектируемых активностях ^{134}Cs и ^{137}Cs 300 Бк во всем теле (время сканирования 2 мин). Период измерений с 17 октября 2011 г. по 30 ноября 2012 г. Очевидно, что этот период был слишком поздним для того, чтобы зарегистрировать короткоживущий ^{131}I . В начале измерений загрязнение одежды обследуемых проверяли с помощью ручного радиометра (модель TGS-146B, Hitachi Aloka Medical, Ltd.). При обнаружении загрязнения обследуемым предлагали переодеться в госпитальные халаты. В последующем, начиная с 1 марта 2012 г., все обследуемые без исключения перед измерениями сменяли свою одежду на

госпитальную. 73 % обследованных лиц являлись жителями префектуры Фукусима, 23 % — жители соседней префектуры Ибараки, остальные прибывали из соседних префектур Тотиги и Мияги. В исследование были включены жители в возрасте от 4 до 93 лет (средний возраст 19 лет, медиана 12 лет). Только у 12,1 % жителей из числа тех, которые были обследованы в период с октября 2011 г. по февраль 2012 г. (11026 человек), было установлено содержание радиоизотопов цезия выше предела детектируемости (300 Бк). Соответствующая доля лиц из числа прошедших измерения в период с марта по ноябрь 2012 г. (21785 человек), составила 1 %. У четырех человек в июле—августе 2012 г. была установлена относительно высокая удельная активность ^{137}Cs (от 67 Бк/кг до 184 Бк/кг). Расследование показало, что эти лица употребляли в пищу не проходившие санитарный контроль продукты питания, такие как дикорастущие грибы, самостоятельно выловленную рыбу, мясо дикого кабана и т.п. Было проведено индивидуальное разъяснение о недопустимости употребления продуктов питания такого рода. Последующие измерения (в ноябре 2011 г.) показали существенное снижение активности радиоцезия в организме этих лиц (до 24 Бк/кг до 92 Бк/кг), что соответствует эффективному периоду полувыведения ^{137}Cs из организма взрослого человека. К этому необходимо добавить, что в школе поселка Михару (50 км на запад от аварийной АЭС, средняя плотность загрязнения почвы по ^{137}Cs около 80 кБк/м², население около 1800 человек, из них 20 % заняты частной сельскохозяйственной деятельностью) были проведены две последовательные серии измерений на СИЧ практически всех школьников. Возраст обследованных составлял от 6 лет до 15 лет, процент охвата измерениями школьного контингента составлял 94,3 % в первой серии измерений (зима 2011 г.) и 95 % — во второй серии измерений (осень 2012 г.). Зимой 2011 г. из 1494 обследованных школьников у 54 человек было установлено содержание радиоизотопов цезия выше предела детектируемости. Во второй серии измерений у всех обследуемых активность радиоцезия в организме была ниже этого предела (300 Бк). Данные оценок доз внутреннего облучения у обследованных лиц не приведены. Отмечается [33], что для таких оценок необходимо тщательное исследование путей и динамики поступления радионуклидов в организм.

Представляет интерес сравнение оценок доз внутреннего облучения по результатам СИЧ измерений жителей префектуры Фукусима с данными, полученными на наиболее загрязненных территориях вследствие аварии на ЧАЭС. Для ситуации после аварии на ЧАЭС эффективные дозы внутреннего облучения всего тела были существенно больше. Это можно объяснить как использованием в рационе питания продук-

тов из личного хозяйства (молоко, мясо, картофель), или же грибов и ягод местного происхождения, не проходящих обязательный радиационный контроль, а также более высокими уровнями радиоактивного загрязнения окружающей среды в местах постоянного проживания. Так, например, в Брянской области в Красногорском, Новозыбковском, Злынковском и Гордеевском районах средние эффективные дозы внутреннего облучения, накопленные за первый год после аварии и оцененные по данным СИЧ измерений с учетом индивидуальных опросов населения, составляют 4,2 мЗв, 3,8 мЗв и 4,4 мЗв соответственно [34, 35]. Максимальные индивидуальные эффективные дозы внутреннего облучения всего тела в единичных случаях достигают величин 30–40 мЗв за первый год после аварии [34–36]. Это весьма значимо превышает эффективные дозы внутреннего облучения у населения префектуры Фукусима, оцененные в ранний период после аварии. Следует отметить, что оценка доз внутреннего облучения населения префектуры Фукусима по данным СИЧ-измерений была проведена по гипотетическим сценариям, в отличие от данных, полученных в Брянской области после аварии на ЧАЭС, когда расчет доз был основан на данных СИЧ с учетом результатов индивидуальных опросов населения о перемещениях и структуре питания.

Внешнее облучение всего тела. В работе [37] описана компьютерная система, разработанная в Национальном центре радиологических исследований (NIRS) и предназначенная для расчетов доз внешнего облучения. Система основана на применении карт пространственного распределения мощности дозы в воздухе (карты разделены на квадраты размером 2×2 км) с учетом динамики мощности дозы во времени (мощности дозы усреднены в пределах каждого дня после аварии в период с 12 марта по 11 июля 2011 г.). Расчеты доз внешнего облучения, накопленных за этот период, проводили для 18 разработанных схем эвакуации, основанных на официальных данных об эвакуационных маршрутах. Каждая из этих 18 схем представляла собой группу различных путей эвакуации населения: 12 схем эвакуации из 20-км зоны, закрытой в настоящее время для посещения (no go area), а также 6 схем эвакуации из зоны планируемой эвакуации (deliberate evacuation zone), включающей кольцо между радиусами 20 км и 30 км вокруг АЭС и территории с высокими уровнями загрязнения вне радиуса 30 км. Расчеты проводили также для ситуации, когда население проживало на загрязненных территориях вне зон эвакуации. Для учета факторов поведения, необходимых для расчетов доз по указанным выше 18 схемам эвакуации, использовали усредненные данные опросов населения, полученные в рамках программы, организованной

администрацией префектуры Фукусима в сотрудничестве с Фукусимским медицинским университетом [29]. Специальные опросники, рассылаемые по почте жителям префектуры, явились базисом для получения следующей информации: место пребывания, длительность пребывания внутри и вне помещения, тип строения, периоды смен мест пребывания (включая эвакуацию). Эта программа была начата приблизительно через три месяца после аварии. Всего было разослано 2056994 опросника. Ответы были получены от 21,9 % опрошиваемых лиц (451446 жителя). Наиболее активными в ответах были жители в возрасте от 60 до 69 лет (в этом возрасте доля ответивших составила около 60 %), т.е. имел место систематический возрастной «сдвиг» в проведенном мониторинге. Несмотря на наличие опросников, при расчетах доз внешнего облучения исходили из весьма идеализированных предпосылок. Величины индивидуализированных доз, с учетом персональной информации, содержащейся в опросниках, не опубликованы. Предполагали, что все эвакуированные передвигались по путям эвакуации с одной и той же постоянной скоростью — 10 км/час внутри префектуры Фукусима, либо же со скоростью 30 км/час при переездах в соседние префектуры. Скорость передвижения после апреля 2011 г. соответствовала нормальным условиям трафика. При этом дозу за период эвакуации рассчитывали как произведение средней мощности дозы между исходной и конечной точками эвакуации (мкЗв/час) и длительностью перемещения в часах. Рассматривали два типа исходных мест эвакуации из населенных пунктов: а) публичные здания, например здание администрации города; б) место в населенном пункте с наибольшей мощностью дозы. Абсолютно для всех эвакуированных (независимо от возраста, социальных и профессиональных групп, географического положения) полагали, что каждый из них до дня эвакуации находился вне помещений в течении одного и того же периода времени по четыре часа в день, а после эвакуации (при пребывании в пунктах эвакуации) — по два часа в день. Коэффициенты экранирования внешнего гамма-излучения от радиоактивного облака и от радионуклидов на почве в зависимости от типов зданий (деревянные, каменные или бетонные здания разной этажности) для всех жителей принимали в соответствии с техническим документом МАГАТЭ (IAEA-TECDOC-225). Учитывали возрастную зависимость величины эффективной дозы при внешнем гамма-облучении. При расчетах вычитали дозы за счет естественного фонового облучения (0,03 мкЗв/ч).

Как следует из изложенного выше, расчет доз внешнего облучения был основан на ряде идеализированных допущений и предположений, относя-

щихся к путям и длительности эвакуации, времени пребывания вне и внутри помещений, коэффициентам экранирования. Все это, конечно, влияет на неопределенность дозовых оценок. Необходимо также отметить неопределенности, связанные с конструированием карт мощности доз и учетом их зависимости от времени. При построении карт использовали различные источники информации [37]. Для периода после 16 марта применили данные инструментального мониторинга мощности дозы [38]. Ввиду того, что для 15 марта данные мониторинга мощности доз были немногочисленными, то для этой даты была применена карта, основанная на результатах мониторинга 16 марта. Это привело к некоторой недооценке доз (не более 30 %) для южных территорий вокруг АЭС и к более существенному завышению доз (до 70 %) в направлении на восток [37]. Для самого раннего периода (от 12 по 14 марта 2011 г.) использовали результаты расчетов мощности дозы с применением системы SPEEDI [16], поскольку объем данных инструментального мониторинга для раннего периода был весьма незначительным. Однако, согласно [37], расчетные данные системы SPEEDI имеют значительную неопределенность. В силу совокупности всех этих причин, согласно мнению авторов расчетов доз [37], полученные ими результаты следует рассматривать как весьма приближенные оценки реальных доз внешнего облучения населения.

Здесь можно отметить, что неопределенность информации о дозах внешнего облучения, относящейся к раннему периоду после аварии, может быть уменьшена, если использовать возможности инструментальных методов ретроспективной дозиметрии, таких как люминесцентная ретроспективная дозиметрия (ЛРД) по кварцевым включениям в объекты окружающей среды и ретроспективная ЭПР дозиметрия с использованием эмали зубов человека [39, 40].

Результаты расчетов доз, выполненных с помощью системы NIRS [37], показывают, что эффективные дозы внешнего облучения для эвакуированных из 20-км зоны (0,23 мЗв — 2,3 мЗв) оказались существенно ниже доз облучения лиц, эвакуированных из зоны планируемой эвакуации (20–30 км, deliberate evacuation zone): 0,84 мЗв против 19 мЗв. Статистическое распределение эффективных доз внешнего облучения, рассчитанное для 386572 жителей префектуры Фукусима с помощью системы NIRS, представлено в табл. 7 [41]. Распределение доз по различным населенным пунктам префектуры, их возрастная структура в этой работе не приведены. Из табл. 7 следует, что для 66,3 % жителей эффективные дозы внешнего облучения составляют менее 1 мЗв, для 95 % — менее 2 мЗв, а для 99,8 % — менее 5 мЗв. Максимальная индивидуальная доза равна 25 мЗв,

Таблица 7

**Результаты расчетов эффективных доз
внешнего облучения жителей префектуры
Фукусима [41]**

Диапазон доз, мЗв	Число лиц в дозовом диапазоне
0—<1	256281
1—<2	110894
2—<3	16726
3—<4	1181
4—<5	532
5—<6	394
6—<7	220
7—<8	111
8—<9	76
9—<10	39
10—<11	40
11—<12	29
12—<13	16
13—<14	11
14—<15	10
15—≤25	12
Максимальная доза — 25 мЗв	
Средняя доза — 0,905 мЗв	

средняя доза — 0,905 мЗв. Погрешности оценок доз не представлены.

Очевидно, что для дозиметрической поддержки радиационно-эпидемиологических исследований по технологии «случай—контроль» необходимы оценки индивидуальных доз. Усилия по индивидуализированным оценкам доз внешнего облучения населения после аварии на АЭС Фукусима-1 имеют на настоящий момент весьма ограниченный характер. Так, в работах [15, 25] представлены величины доз внешнего облучения населения деревни Иитате. Оценки доз проведены на основе данных подворного изучения плотности загрязнения почвы в пределах этого населенного пункта (1768 точек измерений). При расчетах предполагали, что выпадения радиоактивных веществ имели место 15 марта 2011 г., а эвакуация жителей была проведена до октября 2011 г. Полученные результаты показывают, что накопленные дозы внешнего облучения населения н.п. Иитате находятся в пределах от 1,8 до 37 мЗв, при средней величине 14 мЗв.

Данные оценок индивидуализированных доз внешнего облучения 15 жителей населенных пунктов Иитате и Кавамата (приблизительно 37 км на северо-запад от аварийно АЭС) приведены в работе [24]. При оценках доз использовали результаты индивидуальных опросов обследуемых о местах их нахождения после аварии на АЭС Фукусима-1. В среднем, эффективные дозы внешнего облучения в обследованной

группе лиц, накопленные за 54 дня после выпадений, оценены как 8,4 и 5,1 мЗв для взрослых и детей соответственно (по данным измерений мощности дозы в местах проживания обследуемых и с учетом индивидуальных опросов).

Величины средних доз внешнего облучения жителей, представленные в [24], так же как и в работах [15, 25], существенно превышают величину средней расчетной дозы внешнего облучения, полученные с использованием компьютерной системы оценок доз (0,905 мЗв) — см. табл. 7 [41]. В связи с этим инструментальная верификация расчетных данных, например, с использованием методов ЛРД и ЭПР ретроспективной дозиметрии [39, 40, 42–45], могла бы быть весьма полезной. Это позволило бы не только верифицировать имеющиеся расчетные величины доз, но и восстановить недостающую информацию о накопленных дозах внешнего облучения, включая ранний период после аварии.

Как было отмечено выше, для оценки индивидуализированных доз облучения необходима информация об индивидуальных характеристиках перемещения людей на загрязненных территориях. Весьма интересными являются новые возможности по получению такой информации, изложенные в работе [46]. Авторы работы использовали данные системы Auto-GPS, предоставляемой в качестве услуги компанией NTT DOCOMO. INC владельцам мобильных телефонов. Эта система отслеживает местоположения и моменты нахождения в различных местах подписчиков данного сервиса. Приблизительно каждый из 150 жителей префектуры Фукусима являются подписчиками этой услуги. Анонимизированные результаты определения координат и соответствующие моменты времени для каждого подписчика, находящегося в пределах 40 км радиуса вокруг АЭС в период с 0:00 10 марта 2011 г. по 24:00 18 марта 2011 г., усредняли по каждому часу в пространственных квадратах 250×250 м. Результаты анализа представлены в виде графиков, отражающих ежечасное пребывание населения в пределах концентрических колец вокруг АЭС с интервалами в 5 км (от 0 до 40 км). Пересчет от числа подписчиков системы Auto-GPS к числу жителей осуществляли с использованием соотношения «1 подписчик на 150 жителей». Показано, что после правительственных распоряжений об эвакуации из 3-км зоны (11 марта, 21:23), 10 км зоны (12 марта, 5:44), 20-км зоны (12 марта, 18:25), число жителей в зонах эвакуации стало резко уменьшаться. К полуночи 14 марта оставшееся число жителей в 20-км зоне составило не более 2000 человек (из общего числа лиц, находившихся в пределах 20-км радиуса вокруг АЭС около 76 тыс. человек). К сожалению, условия анонимности анализа не позволили установить воз-

растную структуру эвакуированных и оставшихся в зоне жителей. При согласии эвакуированных, являющихся владельцами мобильных телефонов и имеющих подписку на услугу Auto-GPS (около 500 человек из 76 тыс.), можно было бы выявить индивидуальные параметры их поведения. Такими параметрами являются скорость и пути эвакуации, исходные и конечные пункты, места остановок, их длительность и т.д., что, наряду с данными о возрасте, могло бы быть весьма полезным при разработке более реалистичных моделей для расчетов доз внешнего облучения. Следует отметить, что для получения такого согласия необходим контакт с эвакуированными. Однако в этом случае можно проводить и индивидуальные опросы, в том числе и об употребляемых продуктах питания и индивидуальных защитных мерах.

Заключение

1. *Загрязнение питьевой воды и продуктов питания.* Временные допустимые нормы (ВДН) содержания ^{131}I и ^{137}Cs в питьевой воде и продуктах питания были введены достаточно оперативно — 17 марта 2011 г. [1, 5]. Тем не менее, имели место задержки с началом ограничений употребления загрязненных продуктов [1]. Например, ограничения в употреблении загрязненной воды и молока вводились с задержкой от двух до шести дней после первого обнаружения превышения ВДН в воде и молоке, до 82 дней после первого превышения ВДН в овощах и иных растительных продуктах. Задержка в ограничениях для рыбных продуктов достигала 51 дня. Ограничения на употребление загрязненного мяса в префектуре Фукусима были введены с 19 июля 2011 г. и, несколько позднее, — в префектурах Мияги, Иватэ и Тотиги. Учитывая задержки в ограничениях, нельзя исключить попадания ^{131}I и ^{137}Cs в организм жителей с водой, молоком, продуктами питания в ранний период после аварии на АЭС Фукусима-1. Между тем, имеющиеся оценки доз внутреннего облучения щитовидной железы и всего тела основаны, как правило, на ингаляционном пути поступления радионуклидов в организм. По всей видимости, данное обстоятельство требует дальнейших исследований для определения более реалистичных сценариев поступления радионуклидов в организм, что может привести к пересмотру оцененных величин доз облучения населения в ранний период после аварии.

2. *Облучение персонала и привлеченных специалистов.* Дозиметрический контроль персонала АЭС и специалистов (ликвидаторов), привлеченных для работ по преодолению последствий аварии, был налажен в сжатые сроки [4, 5]. В период с марта по август 2011 г. на площадке АЭС ежемесячно работали от 3742 до 1072 человек. Согласно информации ТЕРСО,

только у шести из них были установлены эффективные дозы, превышающие установленную предельно-допустимую суммарную дозу внешнего и внутреннего облучения 250 мЗв (максимальная доза составила 672 мЗв) [4]. Начиная с августа 2011 г., эффективные дозы облучения ликвидаторов были менее 20 мЗв. Средние дозы составляли 29 мЗв для работавших в марте 2011 г. и 1,5 мЗв — для работавших в августе того же года.

Данные о дозах облучения щитовидной железы ликвидаторов не представлены в [4]. Между тем, спектрометрические измерения ограниченной группы ликвидаторов (46 человек), проведенные в апреле—июле 2011 г., выявили наличие ^{131}I в щитовидной железе [6–8]. Предварительные оценки показали, что у 20 ликвидаторов эквивалентные дозы облучения щитовидной железы могут быть весьма значимыми — от $\sim 0,4$ мЗв до ≥ 5 Зв. Отмечено, что для получения более точной и полной информации о дозах облучения щитовидной железы необходимы дополнительные исследования с учетом реальных сценариев поступления радионуклидов в организм, принятых защитных мер, а также вклада в дозу короткоживущих ^{132}I , ^{133}I , ^{132}Te . Отсюда следует актуальность работ по ретроспективной оценке доз облучения щитовидной железы у всего контингента ликвидаторов.

У пожарных и служащих сил самообороны не было выявлено доз облучения свыше установленных предельно-допустимых эффективных доз [5]. Данные о дозах облучения щитовидной железы не приведены.

3. *Облучение щитовидной железы (население).* В ранний период после аварии на АЭС Фукусима-1 индивидуальные дозиметрические обследования населения не были выполнены своевременно и в полной мере, из-за сложной обстановки после землетрясения, цунами и аварии [11, 12].

Численность населения префектуры Фукусима около двух миллионов человек. Число эвакуированных (включая добровольно выехавших) из циркулярной 30-км зоны вокруг аварийной АЭС составляет около 160 тыс. человек. Удалось провести лишь весьма ограниченное количество измерений активности ^{131}I в щитовидной железе населения префектуры.

Так, в период с 24 по 30 марта 2011 г. такие измерения были проведены у 1149 лиц, в том числе у 1080 детей и подростков в возрасте от 1 года до 15 лет [17–19]. Все они находились в наиболее загрязненных населенных пунктах вне пределов 30-км зоны: городе Иваки, поселке Кавамата и деревне Иитате (суммарное количество число жителей этих населенных пунктов около 360 тыс. человек). Расчет эквивалентных доз облучения щитовидной железы проводили по данным измерений ^{131}I с использованием двух гипотетических сценариев поступления радио-

нуклида в организм — однократного и хронического. Предполагали отсутствие защитных мер и постоянное пребывание обследованных лиц в соответствующих населенных пунктах. Сделано заключение [19], что по обоим сценариям у > 99 % всех обследованных дозы облучения щитовидной железы были менее 30 мЗв. Средние дозы по каждому из двух сценариев составляют 8,6 и 7,3 мЗв. Максимальная доза не превысила 80 мЗв.

В середине апреля 2011 г. были проведены спектрометрические измерения активности ^{131}I в щитовидной железе у 17 жителей населенного пункта Намиэ и у 45 эвакуированных лиц [22, 23]. Результаты оценок эквивалентных доз в щитовидной железе по двум гипотетическим сценариям (острое и хроническое поступление активности) показывают, что в различных группах обследованных максимальные индивидуальные дозы составляют 33–37 мЗв при величинах медианных доз от 3,2 мЗв до 4,2 мЗв. Это в целом согласуется с величинами доз, оцененных в населенных пунктах Иваки, Кавамата и Иитате [17–19].

У пяти человек из н.п. Кавамата и Иитате оценки доз в щитовидной железе были осуществлены иным методом — по результатам спектрометрических измерений активности радионуклидов в моче [24]. Установлено, что величины индивидуальных эквивалентных доз облучения щитовидной железы находятся в пределах 27–66 мЗв при средней дозе около 45 мЗв, что превышает величины доз, установленных по данным измерений ^{131}I непосредственно в щитовидной железе [17–19, 22, 23].

По результатам оценок доз на основании детального подворного обследования в деревне Иитате и в предположении однократного ингаляционного поступления активности в организм, установлено, что для детей в возрасте одного года минимальная доза облучения щитовидной железы составляет 14 мЗв, максимальная — 55 мЗв, при средней величине 24 мЗв [15, 25].

Представленные в [15, 17–19, 22–25] величины доз облучения щитовидной железы в разы меньше расчетных данных, полученных с использованием компьютерной системы SPEEDI [16]. Согласно расчетам с использованием указанной системы (данные на 23 марта 2011 г.) для условий нахождения в обследованных населенных пунктах прогнозируемая доза облучения щитовидной железы для ребенка в возрасте одного года, накопленная за период с 6:00 12 марта до 0:00 6 апреля 2011 г., находится в пределах от 100 до 500 мЗв.

Имеющиеся расхождения подчеркивают необходимость получения ретроспективных оценок доз облучения щитовидной железы с учетом индивидуального поведения (места нахождения, потребления

продуктов питания, защитных мероприятий и т.д.) [11, 12] с тем, чтобы выявить причины таких больших различий между расчетными и инструментальными оценками доз облучения населения.

Программа многолетнего ультразвукового скрининга состояния щитовидной железы у лиц в возрасте от 0 до 18 лет на момент аварии была начата в префектуре Фукусима в октябре 2011 г. [29]. К марту 2012 г. ультразвуковому обследованию было подвергнуто 38114 жителей. К сожалению, в рамках данной программы не были предприняты усилия по реконструкции доз внутреннего облучения щитовидной железы обследованных лиц. Отсутствие данных о дозах облучения щитовидной железы делает проблематичным интерпретацию результатов массового ультразвукового скрининга состояния щитовидной железы у жителей префектуры Фукусима, а также у эвакуированных лиц, находящихся в префектуре Фукусима и других префектурах.

4. *Внутреннее облучение всего тела (население).* Массовые измерения активности радиоизотопов цезия в организме жителей с использованием СИЧ организованы администрацией префектуры Фукусима, начиная с 23 июня 2011 г. [32]. К этому времени регистрация активности ^{131}I в организме не была возможна из-за короткого периода полураспада этого радионуклида. К 25 апреля 2013 г. были представлены результаты оценок эффективных доз внутреннего облучения всего тела по результатам измерений ^{134}Cs и ^{137}Cs у 127163 человек. Данные о дозах облучения приведены для двух различных категорий обследованных в зависимости от принятых сценариев расчетов индивидуальных доз. Для первой категории (лица, обследованные за период до конца января 2012 г.) был принят гипотетический сценарий однократного ингаляционного поступления активности в марте 2011 г. Вторую категорию составили жители префектуры, обследованные с начала февраля 2012 г. Для них был принят сценарий постоянного ежедневного поступления активности в организм. По всей видимости, данные о реальных путях поступления радионуклидов в организм, а также о перемещениях обследованных (включая эвакуацию), не учтены, либо же отсутствуют. Из всего количества обследованных для двух человек максимальная эффективная доза внутреннего облучения составила 3 мЗв, для 10 человек — от 2 до 3 мЗв, для 14 человек — от 1 до 2 мЗв. У остальных 127137 человек эффективная доза внутреннего облучения всего тела была оценена меньшей 1 мЗв. Информация о погрешностях величин доз не приведена.

Дополнительные масштабные действия по оценке индивидуальных доз внутреннего облучения всего тела жителей префектуры Фукусимы на основе СИЧ

измерений были начаты 11 июля 2011 г. Японским агентством по атомной энергии (ЯЭА) [30, 31] по запросу правительства Японии. К сожалению, мониторинг активности ^{131}I в щитовидной железе не удалось провести, что обусловлено поздним началом измерений — через четыре месяца после аварии. Сообщается о результатах двух фаз этих исследований: в период с 11 июля 2011 г. по 31 января 2012 г. и в период с 1 февраля по 31 декабря 2012 г. Исследования планируется продолжать и в дальнейшем. По данным измерений первой фазы, индивидуальные эффективные дозы внутреннего облучения оценивали по гипотетическому консервативному сценарию — в предположении однократного ингаляционного поступления радионуклидов цезия 12 марта 2011 г. По результатам второй фазы исследований, индивидуальные дозы облучения оценивали в предположении хронического поступления радионуклидов. Данные учета индивидуального поведения, перемещений и особенностей питания отсутствуют. Погрешности величин индивидуальных доз не приведены. Результаты первой фазы исследований показали, что у 99,8 % из 9927 обследованных эффективные дозы внутреннего облучения всего тела составили менее 1 мЗв (9905 человек), у 2 человек — от 1 до 2 мЗв, у 2 человек — от 2 до 3 мЗв. Максимальные дозы составили 3 мЗв (2 человека). Результаты второй фазы исследований показали, что из 20258 обследованных у 20257 человек эффективные дозы внутреннего облучения всего тела составили менее 1 мЗв (оценка доз по сценарию хронического поступления активности), и только у 1 человека доза составляет 1 мЗв.

Данные о результатах измерений на СИЧ активности ^{134}Cs и ^{137}Cs в организме 32811 жителей префектуры Фукусима приведены в работе [33]. Измерения были проведены в период с октября 2011 г. по ноябрь 2012 г. Очевидно, что этот период был слишком поздним для того, чтобы зарегистрировать короткоживущий ^{131}I . Только у 12,1 % жителей из числа тех, которые были обследованы в период с октября 2011 г. по февраль 2012 (11026 человек), было установлено содержание радионуклидов цезия выше предела детектируемости (300 Бк). Соответствующая доля лиц, из числа прошедших измерения в период с марта по ноябрь 2012 г. (21785 человек), составила 1 %. У четырех взрослых лиц в июле—августе 2012 г. была установлена относительно высокая удельная активность ^{137}Cs (от 67 Бк/кг до 184 Бк/кг). Данные оценок доз внутреннего облучения у обследованных лиц не приведены. Отмечается, что для таких оценок необходимо тщательное исследование путей и динамики поступления радионуклидов в организм.

Следует отметить, что оценка доз внутреннего облучения населения префектуры Фукусима по данным

СИЧ-измерений была проведена по гипотетическим сценариям, в отличие от данных, полученных после аварии на ЧАЭС для поддержки радиационно-эпидемиологических исследований, когда расчет доз был основан на данных СИЧ с учетом результатов индивидуальных опросов населения о перемещениях и структуре питания.

5. *Внешнее облучение всего тела (население).* Широкомасштабные оценки доз внешнего облучения населения префектуры Фукусима и эвакуированных лиц проведены расчетным путем с использованием компьютерной системы, разработанной в Национальном центре радиологических исследований (NIRS) [37]. Система основана на применении карт пространственного распределения мощности дозы в воздухе с учетом динамики мощности дозы во времени. Расчеты доз внешнего облучения, накопленных за период с 12 марта по 11 июля 2011 г., проводили для 18 разработанных схем эвакуации, основанных на официальных данных об эвакуационных маршрутах.

При расчетах доз внешнего облучения исходили из весьма идеализированных предпосылок. Предполагали, что все эвакуированные передвигались по путям эвакуации с одной и той же постоянной скоростью — 10 км/ч внутри префектуры Фукусима, либо же со скоростью 30 км/ч при переездах в соседние префектуры. Дозу за период эвакуации рассчитывали как произведение средней мощности дозы между исходной и конечной точками эвакуации (мкЗв/ч) и длительностью перемещения в часах. Рассматривали два стандартных типа исходных мест эвакуации: а) публичные здания, например здание Администрации города; б) место в населенном пункте с наибольшей мощностью дозы. Для всех эвакуированных полагали, что каждый из них до дня эвакуации находился вне помещений в течение одного и того же периода времени — по четыре часа в день, а после эвакуации — по два часа в день. Коэффициенты экранирования внешнего гамма-излучения от радиоактивного облака и от радионуклидов на почве в зависимости от типов зданий (деревянные, каменные или бетонные здания разной этажности) для всех жителей принимали в соответствии с техническим документом МАГАТЭ (IAEA-TECDOC-225).

Итак, расчет доз внешнего облучения был основан на ряде идеализированных допущений и предположений, относящихся к путям и длительности эвакуации, времени пребывания вне и внутри помещений, коэффициентам экранирования. Все это, конечно, влияет на реалистичность опубликованных дозовых оценок. Несмотря на наличие индивидуальных опросников о характеристиках пребывания и перемещения на загрязненных территориях (опро-

шены с помощью рассылаемых по почте анкет 451446 жителя префектуры [29]), величины индивидуализированных доз, установленных с учетом содержащейся в опросниках персональной информации, не опубликованы (возможно, индивидуальные расчеты будут проведены в будущем).

Необходимо также отметить неопределенности, связанные с конструированием карт мощности доз и учетом их зависимости от времени. При построении карт использовали различные источники информации [37]. Для периода после 16 марта применили данные инструментального мониторинга мощности дозы [38]. Ввиду того, что для 15 марта данные мониторинга мощности доз были немногочисленными, то для этой даты была применена карта, основанная результатах мониторинга 16 марта. Это привело к некоторой недооценке доз (не более 30 %) для южных территорий вокруг АЭС и к более существенной переоценке доз (до 70 %) в направлении на восток [37]. Для самого раннего периода (от 12 по 14 марта 2011 г.) использовали результаты расчетов мощности дозы с применением системы SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) [39], поскольку объем данных инструментального мониторинга для раннего периода был весьма незначительным. Однако, согласно [37], расчетные данные системы SPEEDI имеют значительную неопределенность. В силу совокупности всех этих причин, согласно мнению авторов расчетов доз [37, 41], полученные ими результаты следует рассматривать как весьма приближенные оценки реальных доз внешнего облучения населения.

Здесь можно отметить, что неопределенность информации о дозах внешнего облучения, относящейся к раннему периоду после аварии, может быть уменьшена, если использовать возможности инструментальных методов ретроспективной дозиметрии, таких как люминесцентная ретроспективная дозиметрия (ЛРД) по кварцевым включениям в объекты окружающей среды и ретроспективная ЭПР дозиметрия с использованием эмали зубов человека [39, 40].

Эффективные дозы внешнего облучения, рассчитанные с использованием системы NIRS [37] для 386572 жителей префектуры Фукусима и эвакуированных лиц [41], распределяются следующим образом: для 66,3 % человек дозы внешнего облучения составляют менее 1 мЗв, для 95 % — менее 2 мЗв, а для 99,8 % — менее 5 мЗв. Максимальная индивидуальная доза равна 25 мЗв, средняя доза — 0,905 мЗв. Распределение доз по различным населенным пунктам префектуры, их возрастная структура, не приведены. Погрешности оценок доз не представлены.

В работах [15, 25] представлены величины доз внешнего облучения населения деревни Иитате,

оцененные на основе данных подворного изучения плотности загрязнения почвы в пределах этого населенного пункта. Полученные результаты показывают, что накопленные дозы внешнего облучения населения н.п. Иитате находятся в пределах от 1,8 до 37 мЗв, при средней величине 14 мЗв. Информация о величинах индивидуализированных доз внешнего облучения 15 жителей населенных пунктов Иитате и Кавамата приведены в работе [24]. При оценках доз также использовали данные радиационного мониторинга в пределах населенных пунктов. В среднем, эффективные дозы внешнего облучения в обследованной группе лиц, накопленные за 54 дня после выпадений, оценены как 8,4 мЗв и 5,1 мЗв для взрослых и детей соответственно.

6. *Методы ретроспективной дозиметрии: необходимость применения.* 4 апреля 2011 г. Совет по науке Японии (Japan Science Council) объявил о необходимости исследований индивидуальных уровней облучения населения [12]. Отмечается, что в ранний период после аварии на АЭС Фукусима-1 индивидуальные дозиметрические обследования населения не были выполнены вовремя и в полной мере, из-за сложной обстановки после землетрясения, цунами и аварии. В рамках программы массового ультразвукового скрининга состояния щитовидной железы в префектуре Фукусима [29] не были предприняты усилия по реконструкции доз внутреннего облучения щитовидной железы (по крайней мере, такая информация отсутствует). В работе [11] подчеркивается, что оценки индивидуальных доз необходимы не только для радиационно-эпидемиологических исследований, но и для информирования населения об уровнях облучения, поскольку отсутствие адекватной дозиметрической информации может привести к нежелательным психологическим последствиям, вызванным состоянием длительной тревоги и психологического стресса.

Методы ретроспективной дозиметрии, разработанные и примененные для оценки последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции [см., например, 39, 40], могут быть полезными для использования в ситуации после аварии на АЭС Фукусима-1.

Данные, полученные на основе измерений содержания ^{131}I в щитовидной железе 1253 лиц [10, 17–19] в ранние сроки после аварии, могут быть использованы для верификации моделей реконструкции доз облучения щитовидной железы, как это, например, было сделано в Брянской области РФ [20, 25]. Однако для такой верификации необходима информация об индивидуальном поведении обследуемых после аварии на АЭС Фукусима-1 (места нахождения, потребления продуктов питания, защитных мероприятий и

т.д.), поскольку расчет эквивалентных доз облучения щитовидной железы проводили с использованием гипотетических сценариев поступления ^{131}I в организм [17–19]. Получение такой информации возможно с помощью специальных опросников. Очевидно, что чем раньше будут проведены эти опросы, тем более достоверной будет полученная информация.

Аналогичная ситуация имеет место и при оценках эффективных доз внутреннего облучения с использованием массовых однократных результатов измерений активности радиоизотопов цезия у жителей префектуры Фукусима и у эвакуированных лиц (суммарно около 190 тыс. человек [30–33]). И в этих исследованиях расчеты доз внутреннего облучения были выполнены с применением гипотетических сценариев поступления активности в организм. Наличие информации по данным индивидуальных опросов позволило бы получить более реалистичные оценки доз.

Величины средних эффективных доз внешнего облучения жителей префектуры Фукусима, а также эвакуированных лиц, представленные в [15, 24, 25], существенно превышают величину средней расчетной дозы внешнего облучения, полученные с использованием компьютерной системы NIRS для оценок доз внешнего облучения – 0,905 мЗв [37, 41]. Возникает вопрос о причинах такого расхождения. В связи с этим применение инструментальных методов ЛРД и ЭПР ретроспективной дозиметрии, как это было сделано после аварии на ЧАЭС [39, 40, 42–45, 47], позволило бы не только верифицировать имеющиеся расчетные величины доз, но и восстановить недостающую информацию о накопленных дозах внешнего облучения, включая ранний период после аварии на АЭС Фукусима-1.

Большой интерес представляют оценки возможных доз облучения населения Японии, проведенные российскими специалистами с учетом чернобыльского опыта [48] и опубликованные в трудах ИБРАЭ [49]. В этой работе представлены расчетные дозы внешнего и внутреннего облучения взрослого человека после аварии на АЭС Фукусима-1, нормированные на мощность дозы 1 мкЗв/ч на 15-е сутки после останова реакторов (т.е. на 26 марта 2011 г.). Имеется возможность сравнить результаты этих расчетов с данными японских специалистов. Выше было отмечено, что в работах [15, 25] представлены величины доз внешнего облучения населения деревни Иитате (северо-западный радиоактивный след от аварийной АЭС). Оценки доз проведены на основе детального изучения плотности загрязнения почвы и измерений мощности дозы в пределах этого населенного пункта 29 марта 2011 г. (1768 точек измерений). Если приведенные в работах [15, 25] данные измерений мощ-

ности дозы пересчитать на 26 марта 2011 г. и учесть фактор экранирования внешнего гамма-излучения конструкцией автомобиля, с борта которого проводились эти измерения, то накопленная за 10 суток после аварии эффективная доза внешнего облучения взрослого человека составит 0,48 мЗв в расчете на 1 мкЗв/ч мощности дозы в воздухе. Это значение весьма близко по своей величине к представленному в работе [48] значению – 0,34 мЗв на 1 мкЗв/ч мощности дозы в воздухе, что показывает валидность методики, использованной в работе российских специалистов [48]. Необходимо отметить, что приведенные здесь величины доз внешнего облучения не учитывают какие-либо защитные свойства зданий и сооружений, т.е. являются консервативными. Аналогичное сравнение можно провести и для дозы облучения щитовидной железы. В работе [48] доза в щитовидной железе взрослого человека оценена как 0,39 мЗв в расчете на 1 мкЗв/ч мощности дозы в воздухе для северо-западного следа (мощность дозы на 26 марта 2011 г.). Соответствующее значение, рассчитанное по данным японских специалистов [17–19], полученным на основе результатов радиометрии ^{131}I в щитовидной железе детей и подростков в возрасте от 1 года до 15 лет, находится в пределах от 0,61 мЗв до 0,72 мЗв (в расчете на 1 мкЗв/ч мощности дозы в воздухе). Если же учесть еще и возрастную зависимость дозы облучения щитовидной железы, то величины доз облучения щитовидной железы по данным измерений в Японии составят приблизительно 0,2–0,24 мЗв в расчете на 1 мкЗв/ч мощности дозы в воздухе, что весьма близко к оценке российских специалистов – 0,39 мЗв/[мкЗв/ч] [48], но существенно ниже доз облучения щитовидной железы, предсказанной системой SPEEDI [16].

В итоге можно отметить, что в ранний период после аварии на АЭС Фукусима-1 был проведен весьма ограниченный объем инструментальных оценок доз облучения населения, если сравнить его с объемом детальных исследований радиационного загрязнения окружающей среды [50]. По всей видимости, предстоят весьма значительные усилия по ретроспективной оценке доз внутреннего и внешнего облучения населения вследствие аварии на АЭС Фукусима-1 с использованием расчетных и инструментальных методов ретроспективной дозиметрии. Соответствующий опыт, полученный при ретроспективной оценке доз облучения населения после Чернобыльской аварии, мог бы быть весьма полезным.

Тем не менее, имеющиеся предварительные оценки доз облучения населения, показывают, что после аварии на АЭС Фукусима-1 уровни облучения были существенно ниже, чем вследствие аварии на ЧАЭС. По всей видимости, это обусловлено как раз-

личиями в масштабах и уровнях радиоактивного загрязнения окружающей среды после этих аварий, так и своевременной эвакуацией населения из наиболее загрязненных территорий [5], а также предпринятыми мерами по предотвращению потребления населением загрязненных продуктов питания [1–3]. В работах [51–53] на обширном фактическом материале и с использованием результатов измерений, полученных российскими специалистами в ходе экспедиционных работ, показано, что помимо Японии, «значительного радиоактивного загрязнения территории других стран в результате аварии на АЭС Фукусима-1 не произошло» [51]. Оперативно организованный мониторинг окружающей среды на территории субъектов Российской Федерации и входной радиационный контроль, позволили «исключить возможность ввоза на территорию России грузов, транспортных средств, пищевых продуктов, имеющих радиоактивное загрязнение свыше установленных в Российской Федерации нормативов» [52, 53].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hamada N., Ogino H., Fujimichi Yu. Safety regulations of food and water implanted in the first year following the Fukushima nuclear accident // J. Radiat. Res., 2012, **53**, No. 5, P. 641–671.
2. MHLW // <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou>, last access 26.09.2013.
3. MAFF//<http://www.maff.go.jp/j>, last access 10.09.2013.
4. TEPCO (2011). Exposure dose of workers engaged in emergency work at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station and related matters. // Tokyo Electric Power Company. Press release. October 31, 2011.
5. Government of Japan. The accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Station. Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety (with revisions). // Nuclear Emergency Response Headquarters. Government of Japan. June 2011. Transmitted by Permanent Mission of Japan to IAEA, 7 June 2011.
6. Kurihara O., Kanai K., Nakawata T. et al. Measurements of ^{131}I in the thyroids of employees involved in the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. // J. Nucl. Sci. Technol., 2013, **50**, No. 2, P. 122–129.
7. Kurihara O., Kanai K., Takada C. et al. Direct measurements of employees involved in the Fukushima Daiichi nuclear power station accident for internal dose estimates: JAEA experience. // Proc. of the 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS-M-252, Chiba, 2012, P. 12–25.
8. Nakano T., Kim E., Akahane K. et al. Direct measurements for highly-exposed TEPCO workers and NIRS first responders involved in the Fukushima NPS accident. // Proc. of the 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS-M-252, Chiba, 2012, P. 27–34.
9. Takada C., Kurihara O., Kanai K. et al. Results of whole body counting for JAEA staff members engaged in the Emergency radiological monitoring for the Fukushima nuclear disaster. // Proc. of the 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS-M-252, Chiba, 2012, P. 3–12.
10. Matsuda N., Kumagai A., Ohtsuru A. et al. Assessment of internal exposure doses in Fukushima by a whole body counter within one month after the Nuclear Power Plant accident. // Radiat. Res., **179**, 2013, P. 663–668.
11. Akiba S. Epidemiological studies of Fukushima residents exposed to ionizing radiations from the Fukushima Daiichi nuclear power plant prefecture. A preliminary review of current plans. // J. Radiol. Prot., 2012, **32**, P. 1–10.
12. Science Council of Japan (2011). The 2nd emergency recommendation regarding the response to the Great East Japan Earthquake. “Regarding the necessity of the investigation of radiation levels after the accident of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant”. April 4, 2011. Science Council of Japan. Great East Japan Earthquake Task Force. 2 pp.
13. NIRS(2012). The 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. Proceedings, NIRS-M-252, NIRS, Chiba, Japan, 2012, 98 pp.
14. NIRS(2013). The 2nd NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, NIRS, Tokyo, 2013, 174 pp.
15. Imanaka T. An attempt to estimate early-stage radiation exposure dose at the location of every household in Iitate village, Fukushima. Independent study for determining early-stage external radiation exposure and thyroid exposure due to inhaled radioiodine. // Nuke Info Tokyo, 2013, March/April, No. 153, P. 4–7.
16. Nuclear Regulatory Authority of Japan. // http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/mext_speedi/0312-0324_in.pdf, last access 29.09.2013.
17. Kim E., Kurihara O., Suzuki T. et al. Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. // Proc. The 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS-M-252, NIRS, Chiba, Japan, 2012, P. 59–68.
18. Tokonami S., Hosoda M., Akiba S. et al. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. // Sci. Reports, 2012, No. 5, P. 1–4.

19. Kurihara O., Kim E., Suh S. et al. Reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima NPS accident // The 2nd NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, NIRS, Tokyo, 2013, P. 140–162.
20. Stepanenko V., Zvonova I., Shinkarev S. Post-Chernobyl dose reconstruction issues // The 2nd NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, NIRS, Tokyo, 2013, P. 48–68.
21. Степаненко В.Ф., Яськова Е.К., Орлов М.Ю. и соавт. Внутреннее облучение щитовидной железы у жителей Калужской области по данным массовых инструментальных измерений ¹³¹I, проведенных в мае 1986 г. // Атомная энергия, 2008, **105**, № 2, С. 97–103.
22. Tokonami S., Hosoda M., Akiba S. et al. Thyroid equivalent doses due to radiiodine-131 intake for evacuees from Fukushima Daiichi Nuclear Power Accident. // Proc. The 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS-M-252, NIRS, Chiba, Japan, 2012, P. 51–58.
23. Tokonami S., Hosoda M., Sorimachi A. et al. Estimation of thyroid doses due to radioiodine (I-131) using radiocesium activity measured by whole body counter (WBC). // The 2nd NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS, Chiba, Japan, 2013, P. 104–113.
24. Kamada N., Saito O., Endo S. et al. Radiation doses among residents living 37 km northwest of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. // J. Environ. Radioact., 2012, **110**, P. 84–89.
25. Imanaka T., Endo S., Sugai M. et al. Early radiation survey of Iitate village, which was heavily contaminated by the Fukushima Daiichi accident, conducted on 28 and 29 March 2011. // Health Phys., 2012, **102**, No. 6, P. 680–686.
26. Stepanenko V.F., Voillequé P.G., Gavrilin Yu.I. et al. Estimating individual thyroid doses for a case–control study of childhood thyroid cancer in Bryansk Oblast, Russia. // Radiat. Protect. Dosimetry, 2004, **108**, No. 2, P. 143–160.
27. Davis S., Stepanenko V., Rivkind N. et al. Risk of thyroid cancer in the Bryansk Oblast of the Russian Federation after the Chernobyl Power Station accident // Radiat. Res., 2004, **162**, P. 241–248.
28. UNSCEAR (2008). Sources and effects of ionizing radiation // UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II. Scientific Annex D. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident, 2008.
29. Yasumura S., Hosoya M., Yamashita S. et al. Study protocol for the Fukushima health management survey. // J. Epidemiol., 2012, **22**, No. 5, P. 375–383.
30. Momose T., Takada C., Nakagawa T. et al. Whole-body counting of Fukushima residents after the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. // Proc. The 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS-M-252, NIRS, Chiba, Japan, 2012, P. 67–82.
31. Momose T., Takada T., Nakagawa T. et al. Whole body counting of Fukushima residents after TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. // The 2nd NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. NIRS, Chiba, Japan, 2012, P. 91–112.
32. Fukushima Prefecture // <http://www.pref.fukushima.jp/imu/wbc>, last access 25.04.2013.
33. Hayano R.S., Tsubokura M., Miyazaki M. et al. Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys. // Proc. Jpn. Acad., 2013, Ser. B. **89**, No. 4, P. 157–163.
34. Степаненко В.Ф., Яськова Е.К., Цыб А.Ф., Прошин А.Д. Дозы внутреннего облучения всего тела у жителей наиболее загрязненных районов Брянской области по данным многолетнего мониторинга. // Сб. научн. докладов международного семинара «Оценка доз облучения жителей Брянской области на основе измерения содержания цезия-137 в организме облучаемого контингента». МЧС РФ. – М., 2007, С. 68–77.
35. Степаненко В.Ф., Яськова Е.К., Орлов М.Ю. и соавт. Эффективные дозы внутреннего облучения жителей наиболее загрязненных районов Брянской области и Калужской областей. // Атомная энергия, 2007, **103**, № 3, С. 192–197.
36. Степаненко В.Ф., Орлов М.Ю., Петин Д.В. и соавт. Ретроспективная индивидуальная дозиметрия в населенном пункте с высоким радиоактивным загрязнением. // Атомная энергия, 2003, **95**, № 1, С. 60–67.
37. Akahane K., Yonai S., Miyahara N. et al. NIRS external dose estimation system for Fukushima residents after the Fukushima Dai-ichi NPP accident. // Sci. Reports, 2013, No. 3, P. 1–6.
38. MEXT. About development of distribution map of radiation dose and related matters // http://radioactivity.mext.go.jp/ja/distribution_map_around_FukushimaNPP, last access 22.10.2013.
39. Bailiff I.K., Stepanenko V. Retrospective dosimetry and dose reconstruction. European Commission.

- Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, EUR 16540, 1996, 115 pp.
40. *IAEA-TECDOC-131*. Use of Electron Paramagnetic Resonance Dosimetry with Tooth Enamel for Retrospective Dose Assessment. IAEA-TECDOC-131. Vienna, IAEA, 2011, 57 pp.
 41. *Akahane K.* External dose estimation for Fukushima residents after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident. // In: "International Academic Conference on Radiation Health Risk Management in Fukushima", 25–27 Febr. 2013, NIRS, 2013.
 42. *Bailiff I.K., Stepanenko V.F., Göksu H.Y. et al.* Retrospective luminescence dosimetry: development of approaches to application in populated areas downwind of the Chernobyl NPP. // *Health Phys.*, 2005, **89**, No. 3, P. 233–246.
 43. *Bailiff I.K., Stepanenko V.F., Göksu H.Y. et al.* Comparison of retrospective luminescence dosimetry with computational modeling in two highly contaminated settlements downwind of the Chernobyl NPP. // *Health Phys.*, 2004, **86**, No. 1, P. 25–41.
 44. *Степаненко В.Ф., Скворцов В.Г., Иванников А.И. и соавт.* Методы индивидуальной ретроспективной физической дозиметрии в проблеме оценки последствий неконтролируемых радиационных воздействий. // *Радиационная биология. Радиоэкология*, 2011, **51**, № 1, С. 168–177.
 45. *Skvortsov V.G., Ivannikov A.I., Stepanenko V.F. et al.* Application of EPR retrospective dosimetry for large-scale accidental situation. // *Appl. Radiat. Isotop.*, 2000, **52**, № 5, P. 1275–1282.
 46. *Hayano R., Adachi R.* Estimation of the total population moving into and out of the 20 km evacuation zone during the Fukushima NPP accident as calculated using "Auto-GPS" mobile data. // *Proc. Jpn. Acad.*, 2013, Ser. B89, **89**, No. 5, P. 196–199.
 47. *ICRU Report 68*. Retrospective assessment of exposures to ionizing radiation. ICRU Report 68. // *J. ICRU*, 2002, **2**, No. 2, 100 p.
 48. *Павловский О.А., Панченко С.В., Серебряков Е.Л.* Оценки возможных доз облучения населения Японии в результате аварии на АЭС "Фукусима-1" на основе чернобыльского опыта. Авария на АЭС "Фукусима-1": опыт реагирования и уроки. // *Труды ИБРАЭ*. Выпуск 13. ИБРАЭ РАН. – М.: Наука, 2013, С. 154–171.
 49. Авария на АЭС "Фукусима-1": опыт реагирования и уроки. Под ред. *Л.А. Большова*. // *Труды ИБРАЭ*. Выпуск 13. ИБРАЭ РАН. – М.: Наука, 2013, 248 с.
 50. *Степаненко В.Ф., Хоши М., Орлов М.Ю. и соавт.* Загрязнение окружающей среды и продуктов питания радионуклидами, дозы облучения населения после аварии на АЭС Фукусима-1. Сообщение 1: Загрязнение окружающей среды. // *Мед. радиол. и радиац. безопасность*, 2013, **58**, № 6, С. 14–24.
 51. *Онищенко Г.Г., Романович И.К., Балонов М.И. и соавт.* Авария на АЭС "Фукусима-1": первые итоги аварийного реагирования. Сообщение 1: общие сведения об аварии и радиационной обстановке. // *Радиационная гигиена*, 2011, **4**, № 2, С. 5–12.
 52. *Онищенко Г.Г., Романович И.К., Барковский А.Н. и соавт.* Авария на АЭС "Фукусима-1": первые итоги аварийного реагирования. Сообщение 2: действия органов Роспотребнадзора по радиационной защите населения Российской Федерации на ранней стадии аварии. // *Радиационная гигиена*, 2011, **4**, № 2, С. 13–22.
 53. *Романович И.К., Балонов М.И., Барковский А.Н. и соавт.* Авария на АЭС "Фукусима-1": организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации. Под ред. *Г.Г. Онищенко*. – СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012, 336 с.

Поступила: 11.06.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

А.Р. Туков, А.П. Бирюков, И.Л. Шафранский**УЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ
ПРИ РАДИАЦИОННО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ
ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ****A.R. Tukov, A.P. Birukov, I.L. Shafransky****Accounting for the Additional Components of Radiation Doses in
Radiation-Epidemiological Studies of Persons Exposed to Ionizing
Radiation**

РЕФЕРАТ

Цель: Оценка риска заболевания злокачественными новообразованиями при воздействии различных источников облучения.

Материал и методы: Исследование проведено с использованием информационной базы данных работников АЭС, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Для расчёта риска использованы дозы профессионального облучения и дозы, полученные при работе в 30-км зоне.

Результаты: В исследовании показано, что использование лишь одной из частей суммарной дозы облучения человека приводит к получению различных уровней риска заболевания злокачественными новообразованиями.

Заключение: Только использование суммарной дозы от различных источников облучения может привести к получению корректных результатов оценки риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний.

Ключевые слова: *риск рака, дозы различных видов облучения, суммарная доза*

ABSTRACT

Purpose: Estimation of the risk of cancer using doses of different types of radiation.

Material and methods: The study carried out with using the information from database of the NPP workers participated in recovery operations at the Chernobyl. For the risk calculation the dose of professional exposure and the dose received during operations in 30 km zone were used.

Results: It is shown that using only part of the total radiation dose in cancer risk estimation results into different inaccuracies.

Conclusion: For the correct cancer risk estimation the total radiation dose should be used only.

Key words: *risk of cancer, dose of different types of irradiation, the total dose*

Введение

При проведении межведомственными экспертными советами экспертизы медицинских документов для установления причинной связи заболеваний, инвалидности и смерти граждан, подвергшихся радиационному воздействию вследствие радиационных катастроф и инцидентов, одним из важных источников информации являются сведения о дозовой нагрузке, полученной освидетельствуемым пациентом. Поэтому изучение формирования доз ионизирующего излучения при различных сценариях облучения, а также совершенствование методик их расчета для получения оценки риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний представляет собой важную задачу. Наиболее актуальным является изучение влияния отдельных компонент дозовых нагрузок на человека при проведении радиационно-эпидемиологического анализа.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения,
- в результате радиационной аварии,
- от природных источников излучения,
- при медицинском облучении.

В предыдущей версии норм радиационной безопасности НРБ-99 указано, что «Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий...» [1]. Последнее естественно, так как радиационно-индуцированные заболевания возникают от любого вида облучения.

Дозы по видам воздействия ионизирующего излучения на человека за последние годы стали сопоставимыми. В США, например, дозы медицинского облучения достигли в 2006 г. 3 мЗв в год [2]. При

этом необходимо учитывать, что это усредненная доза, поскольку в популяции она может значительно варьировать.

В регистрационных картах лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС (приказ Минздрава СССР № 640 от 7 мая 1987 г.), существовала строка «Воздействие вредных, неблагоприятных производственных факторов (кодируется по приказу Минздрава СССР № 700 от 19.06.84 г.), однако уже приказом Минздрава РФ № 281 от 26.11.93 г., к сожалению, эта информация была исключена из учетного документа.

В настоящее время, в связи с тем, что ни один медико-дозиметрический регистр не соответствует требованиям НРБ, отсутствует возможность проведения корректных исследований по оценке риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний при малых дозах облучения на основе существующих регистров как у нас в стране, так и за рубежом.

В данной работе предпринята попытка сбора данных о дозах профессионального облучения работников АЭС России, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, и оценки риска заболевания солидными раками этого контингента лиц с учетом доз, как полученных только при работе в 30-км зоне, так и суммы той же дозы и дозы, полученной при профессиональной деятельности.

Материал и методы

По запросу ФМБА России концерн «Росэнергоатом» предоставил ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России данные о дозах профессионального облучения работников основного производства 10 АЭС, состоящих на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК), участвовавших в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В разработку включены данные о дозах профессионального облучения работников Балаковской, Белоярской, Билибинской, Калининской, Кольской, Курской, Ленинградской, Нововоронежской, Ростовской и Смоленской АЭС.

Информация была представлена на бумажных носителях, что потребовало их сканирования. При распознавании документов возникло много ошибок, которые были верифицированы при визуальном контроле (36937 записей).

Дозы профессионального облучения были представлены по годам работы с радиоактивными веществами (РВ) и источниками ионизирующего излучения (ИИИ) от начала работы на АЭС по 2009 г. Далее были рассчитаны кумулятивные дозы, которые были привязаны к участникам ликвидации аварии, включенных в отраслевой регистр, после чего была сфор-

мирована база данных по дозам облучения и заболеваниям солидными раками.

В табл. 1–3 представлены некоторые характеристики обобщенной базы данных по пяти дозовым группам. Группы формировались из расчета примерно равного количества лиц и с учетом полученных доз облучения.

Таблица 1

Характеристика базы данных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (дозы ЧАЭС)

Дозовая группа	Доза (минимум – максимум, мЗв)	Средняя доза, мЗв	Число ликвидаторов, мужчины	Средний возраст на начало работы в 30-км зоне, лет
Всего, в том числе:	0,1–419,0	22,99	1088	34,5
1	0,1–2,9	1,42	225	34,7
2	3,0–6,9	4,37	226	34,8
3	7,0–13,9	9,63	233	34,1
4	14,0–29,9	20,09	208	35,0
5	30,0–419,0	88,16	169	34,1

Таблица 2

Характеристика базы данных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (профессиональные дозы)

Дозовая группа	Доза (минимум – максимум, мЗв)	Средняя доза, мЗв	Число ликвидаторов, мужчины	Средний возраст на начало работы с РВ и ИИИ, лет
Всего, в том числе:	0,1–1574,0	147,97	1088	29,6
1	0,1–34,9	14,44	246	34,9
2	35,0–71,9	53,5	213	30,4
3	72,0–134,9	97,84	226	28,2
4	135,0–249,9	182,36	211	26,7
5	250,0–1574,0	445,09	192	26,9

Таблица 3

Характеристика базы данных ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (дозы ЧАЭС + профессиональные дозы)

Дозовая группа	Доза (минимум – максимум, мЗв)	Средняя доза, мЗв	Число ликвидаторов, мужчины	Средний возраст на начало работы с РВ и ИИИ, лет
Всего, в том числе:	0,2–1580,0	170,92	1088	29,6
1	0,2–45,9	23,69	227	34,6
2	46,1–84,96	65,25	211	30,2
3	85,4–139,9	109,54	208	29,0
4	140,25–269,9	194,06	222	27,2
5	270,0–1580,0	458,86	220	26,9

Обращает на себя внимание различие в среднем возрасте работников АЭС на начало работы с РВ и

ИИИ для профессионалов и их же среднего возраста при работе в 30-км зоне АЭС.

На рис. 1–3 представлена структура дозовых нагрузок внешнего облучения работников АЭС, мужчин-участников ликвидации аварии на ЧАЭС.

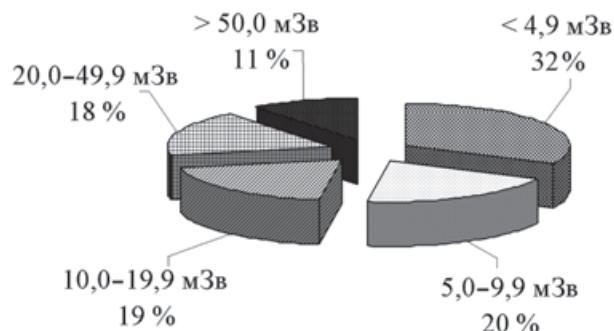


Рис. 1. Структура доз внешнего облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, полученных при работе в 30-км зоне (мужчины)

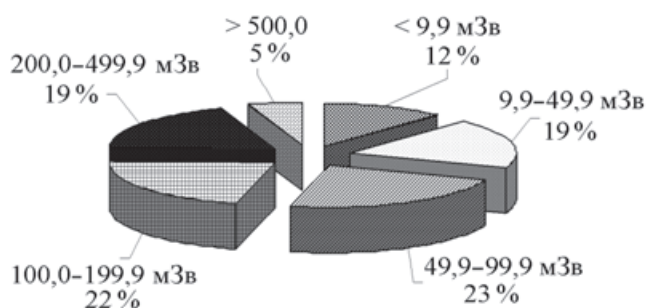


Рис. 2. Структура доз внешнего профессионального облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (мужчины)

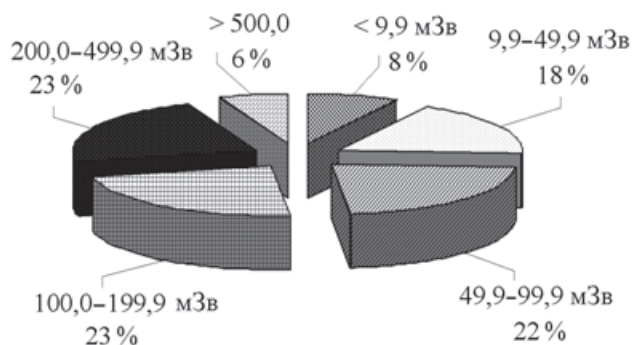


Рис. 3. Структура суммарных доз внешнего облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, полученных при профессиональной работе и работе в 30-км зоне (мужчины)

Доля доз до 10 мЗв составляет 52 % в структуре доз внешнего облучения, полученных ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС, и 11 % для доз свыше 50 мЗв.

В структуре доз внешнего облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, полученных в

условиях профессиональной деятельности, дозы до 100 мЗв составили 54 %, дозы 500 мЗв и выше — 5 %.

В структуре суммарных доз, полученных ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км зоне и в процессе профессиональной деятельности, 48 % составляют дозы до 100 мЗв, 6 % ликвидаторов имеют дозы, превышающие 500 мЗв.

В табл. 4 представлена информация о средних, минимальных и максимальных дозах внешнего облучения, полученных ими в различных местах работы.

Таблица 4

Распределение доз облучения в зависимости от места работы

Место получения дозы	Средняя доза, мЗв	Минимальная доза, мЗв	Максимальная доза, мЗв
ЧАЭС	23,0	0,1	419,0
АЭС РФ	147,97	0,1	1574,0
Сумма доз	171,3	0,2	1580,0

Дозы внешнего облучения, полученные ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км зоне, составили 15,5 % от доз, полученных этими же лицами в процессе своей профессиональной деятельности.

Можно было бы предположить, что работники АЭС с большей дозой профессионального облучения получают более высокие дозы и при работе по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Однако такая связь не подтвердилась, коэффициент корреляции между рядами этих доз равен 0,076.

У ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС — работников 10 АЭС России за период наблюдения было выявлено 74 солидных злокачественных новообразований (табл. 5).

Таблица 5

Структура солидных злокачественных новообразований, выявленных у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, мужчин — работников АЭС

Локализация ЗНО	Число больных	Доля, %
Всего	74	100,0
Рак губы	4	5,4
Рак желудка	11	14,9
Рак прямой кишки	4	5,4
Рак бронхов и легкого	15	20,3
Рак кожи (кроме меланомы)	5	6,8
Меланома	3	4,0
Рак предстательной железы	6	8,1
Рак мочевого пузыря	2	2,7
Рак почки	6	8,1
Рак щитовидной железы	2	2,7
Рак головного мозга	2	2,7
Гемобластозы	3	4,0
Прочие	11	14,9

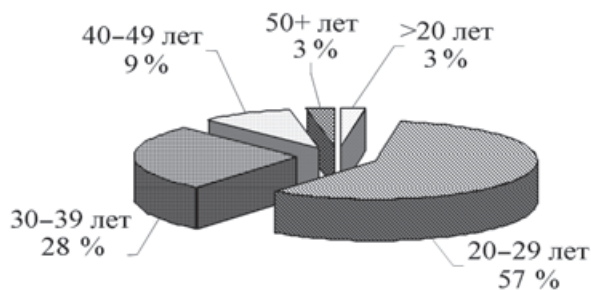


Рис. 4. Распределение работников 10 АЭС, состоящих на ИДК, по возрасту на начало работы с РВ и ИИИ

В структуре злокачественных новообразований у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС преобладают рак бронхов и легкого — 20,3 % и рак желудка — 14,9 %. В исследование включены только солидные раки.

Возрастная структура когорты на начало работы с РВ и ИИИ приведена на рис. 4. Основную часть когорты составляет персонал в возрасте 20–29 лет — 57 %.

Средний возраст когорты на начало работы с РВ и ИИИ составил 29,6 года.

Основной возраст на начало работы с РВ и ИИИ составил 20–39 лет — 85 % работников АЭС.

Результаты и обсуждение

Исследуемая когорта была сформирована по следующим критериям.

Для случаев заболеваний, если человек продолжал работать после заболевания, год окончания ИДК приравнивался к году диагноза заболевания. Для лиц, не заболевших злокачественными новообразованиями, окончанием наблюдения был 2009 г. или дата снятия с учета (смерти).

Для расчетов риска возникновения радиационно-индуцированных солидных раков у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по программе AMFIT данные были разделены на 5 дозовых групп соответственно для доз, полученных при ликвидации аварии на ЧАЭС и по суммарной дозе (табл. 6, 7).

Отмечается практически постоянный рост заболеваемости злокачественными новообразованиями ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС по группам возрастающих доз внешнего облучения.

Результаты оценки радиационных рисков с использованием программы AMFIT для различных дозовых нагрузок приведены в табл. 8. Как следует из таблицы, наблюдается положительный тренд зависимости заболеваемости от дозы облучения в обеих группах, но этот тренд статистически не значим.

Таблица 6

Значения стратифицированных показателей ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, мужчин — работников АЭС, суммарные дозы (ЧАЭС + профессиональные)

Дозовая группа	Доза (минимум/максимум, мЗв)	Средняя доза, мЗв	Число ликвидаторов, мужчины	Средний возраст на начало работы с РВ и ИИИ, лет	Чел.-лет наблюдения	Число больных ЗНО	Заболеваемость на 100000 чел. ДИ 95 %
Всего, в том числе	0,2/1580,0	171,3	1084	29,6	27310	71	^{260,0} 252,6 – 277,7
1	0,2/65,37	34,5	339	33,2	7225	18	^{249,1} 223,3 – 242
2	65,6/107,75	85,8	200	29,9	5024	10	^{199,0} 163 – 281,3
3	107,8/175,5	138,9	186	27,8	5019	12	^{239,1} 202,9 – 320,5
4	176,3/318,0	237,2	190	27,3	5022	14	^{278,8} 242,2 – 379,8
5	321,7/1580,0	508,3	169	26,6	5020	17	^{338,7} 301,6 – 379,8

Таблица 7

Значения стратифицированных показателей ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, мужчин — работников АЭС (дозы ЧАЭС)

Дозовая группа	Доза (минимум/максимум, мЗв)	Средняя доза, мЗв	Число ликвидаторов (мужчины)	Средний возраст на начало работы с РВ и ИИИ, лет	Чел.-лет наблюдения	Число больных ЗНО	Заболеваемость на 100000 чел. ДИ 95 %
Всего, в том числе	0,1/419,0	23,0	1084	32,7	23839	71	^{297,8} 289,5 – 306
1	0,1/4,9	2,1	349	34,8	7075	14	^{197,9} 171,9 – 227,5
2	5,0/9,8	6,8	216	34,1	4406	12	^{272,4} 231,2 – 320,5
3	10,0/19,0	13,4	210	34,8	4151	15	^{361,4} 316,9 – 411,6
4	20/57	31,1	207	34,4	4182	20	^{478,2} 433,4 – 527,2
5	59,0/419,0	132,6	101	34,4	4024	10	^{248,5} 204,2 – 302,1

Таблица 8

Оценки радиационных рисков с использованием программы AMFIT для различных дозовых нагрузок

Дозы получены	Средняя доза, мЗв	ERR на 1 Зв, 95 % ДИ
На ЧАЭС	23,0	1,07 (-11,9; 4,07)
На ЧАЭС + проф. доза	171,3	2,48 (-6,22; 11,18)

В первую очередь следует сказать, что имеет место значительное различие в значении добавленного относительного риска на единицу дозы при использовании только данных по дозам, полученным в результате ликвидации аварии на ЧАЭС и при суммарных дозах. Такая разница в величине риска ставит под сомнение правомерность использования этих данных при оценке влияния дозы внешнего облучения на заболеваемость злокачественными новообразованиями без учета влияния других источников радиации. Вместе с тем, использование суммарных доз внешнего облучения, как профессиональных, так и «чернобыльских», дает несколько завышенные оценки значения риска на 1 Зв. Однако, как и по данным японской когорты, имеет место довольно устойчивый рост риска заболевания с ростом дозы внешнего облучения.

Отметим, что результаты представленного исследования только условно согласуются с оценками крупномасштабного исследования [3], проведенного среди рабочих атомной промышленности в 15 индустриально развитых странах (исключая Россию).

Основной проблемой использования только части суммарной дозы облучения для оценки риска возникновения радиационно-индуцированных заболеваний является ошибочная группировка данных. Эта ошибка продемонстрирована на примере табл. 9 и 10, в которых отражены в сопоставлении дозовые нагрузки как по результатам работы в ликвидации аварии на ЧАЭС, так и дозы профессионального облучения.

В табл. 9 из общей популяции ликвидаторов выделены 46 работников, имеющих дозы внешнего облучения 5 мЗв, полученные при работе в 30-км зоне. Они должны находиться в контрольной группе исследования вместе с лицами, у которых дозы менее 5 мЗв. Однако мы видим, что при суммировании доз 45 из 46 лиц, по определению, не могут находиться в контрольной группе.

В табл. 10 мы видим ту же ситуацию с группой работников, имеющих профессиональную дозу 5 мЗв. Суммирование с ней дозы внешнего облучения, полученной ими при ликвидации аварии на ЧАЭС, включает их всех из контрольной группы.

Таблица 9

Сопоставление профессиональных дозовых нагрузок и доз ЧАЭС

Доза на ЧАЭС, мЗв	Индивидуальные проф. дозы, мЗв	Общая доза, мЗв
5	502,1	507,1
5	395,0	400,0
5	296,1	301,1
5	248,6	253,6
5	216,8	221,8
5	202,18	207,18
5	200,0	205,0
5	195,4	200,4
5	189,7	194,7
5	169,9	174,9
5	166,7	171,7
5	148,94	153,94
5	148,17	153,17
5	146,5	151,5
5	145,7	150,7
5	142,8	147,8
5	141,5	146,5
5	115,0	120,0
5	108,71	113,71
5	100,94	105,94
5	98,78	103,78
5	96,2	101,2
5	92,87	97,87
5	82,31	87,31
5	81,8	86,8
5	75,35	80,35
5	71,48	76,48
5	56,35	61,35
5	53,6	58,6
5	53,18	58,18
5	52,6	57,6
5	49,5	54,5
5	46,14	51,14
5	43,8	48,8
5	42,49	47,49
5	42,1	47,1
5	38,5	43,5
5	37,8	42,8
5	37,41	42,41
5	36,8	41,8
5	34,1	39,1
5	32,53	37,53
5	31,3	36,3
5	28,3	33,3
5	20,17	25,17
5	0,1	5,1

На примере представленных данных можно видеть значительную некоррелированность тех и других дозовых нагрузок.

На семинаре «Приборы и методы радиационного контроля», который прошел в Обнинске 11–13 ноября

Таблица 10

**Сопоставление дозовых нагрузок на ЧАЭС
и профессиональных доз**

Доза ЧАЭС, мЗв	Индивидуальные профессиональные дозы, мЗв	Общая доза, мЗв
4,0	5,0	9,0
1,0	5,0	6,0
20,0	5,1	25,1
3,0	5,3	8,3
2,0	5,37	7,37
318,0	5,4	323,4
1,5	5,69	7,19
2,0	5,79	7,79
1,0	5,9	6,9

2008 г., Е.К. Василенко с соавторами сделал сообщение на тему: «Реконструкция индивидуальных доз медицинского диагностического облучения работников ПО «Маяк». Сравнение медицинских и профессиональных доз». Докладчик на многих диаграммах показал, что, при снижении доз профессионального облучения, среднегодовые поглощенные дозы от медицинского облучения с начала 1960-х гг. для разных органов превышают профессиональные дозы.

Авторы пришли к выводу: «Полученные расчетные данные свидетельствуют о весомом вкладе в облучение персонала ПО «Маяк» медицинского облучения».

Кроме того, дозы от природных источников излучения также могут быть причиной возникновения радиационно-индуцированных заболеваний. В табл. 11 представлены дозы природного облучения по некоторым территориям, обслуживаемым учреждениями здравоохранения ФМБА России [4]. Третья графа сформирована из расчета проживания на территории в течение 50 лет, учитывая при этом средний возраст возникновения заболевания ЗНО, который в России составляет около 60 лет.

Таблица 11

Результаты обработки форм государственного статистического наблюдения, природное облучение № 4-ДОЗ – ЕСКИД (2010 г.)

Наименование населенного пункта	Средняя индивидуальная доза, мЗв/год	Средняя индивидуальная доза за 50 лет, мЗв
ЗАТО г. Снежинск	5,9	295
г. Обнинск	4,271	213,55
ЗАТО г. Озерск	4,155	207,75
г. Протвино Московской обл.	2,27	113,5
г. Нововоронеж	2,178	108,9
г. Димитровград	1,972	98,6
ЗАТО г. Снежногорск	0,918	45,9
г. Десногорск	0,715	35,75
п. Вольгинский Владимирской обл.	0,57	28,5

Мы видим большое различие в уровнях природного облучения населения территорий, что не позволяет ликвидаторам последствий аварии на ЧАЭС из этих территорий находиться в одной и той же дозовой группе по дозам внешнего облучения, полученным ими при работе в 30-км зоне. При этом также необходимо принимать во внимание, что в таблице приведены средние дозы, и для индивидуумов она значительно варьирует.

В НРБ-99 даются рекомендации: «Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий, ...», однако в НРБ-99/2009 эти рекомендации отсутствуют.

Таким образом, результаты проведенного исследования впервые показывают, что использование только отдельных компонент дозовой нагрузки человека приводит к получению некорректных результатов в оценке риска возникновения радиационно-индуцированных злокачественных новообразований.

Перспективой дальнейшего исследования на следующем этапе работы следует считать:

1. Сбор данных о профессиональных дозах облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС – работников всех предприятий и учреждений Росатома, исключая работников АЭС, для увеличения мощности исследования.
2. Организацию сбора данных о дозах медицинского и природного облучения ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС – работников всех предприятий и учреждений Росатома.
3. В связи с уникальностью «Регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС» необходимо продолжение работ по его совершенствованию в плане сбора информации для корректного проведения исследований и использования его в дальнейшем для проведения исследований по оценке качества ведомственных медико-социальных программ.

Заключение

В результате проведенного радиационно-эпидемиологического анализа:

1. Отмечен положительный тренд зависимости заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями от дозы облучения среди лиц из персонала основного производства 10 АЭС, состоящих на ИДК и принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, как при использовании доз внешнего облучения, полученных при работе в 30-км зоне ЧАЭС, так и при суммарной дозе (ЧАЭС + профессиональные).
2. Получены различающиеся результаты рисков возникновения радиационно-индуцированных забо-

леваний у лиц, принимавших участие в ликвидации аварии на ЧАЭС, при использовании только одной компоненты общей дозы облучения.

3. Требование «Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий,...» в НРБ-99 необходимо восстановить в НРБ-99/2009;
4. Полученный результат еще раз подчеркивает актуальность и необходимость создания единого медико-дозиметрического регистра работников предприятий и организаций ГК «Росатом» с информацией о всех дозовых нагрузках, обозначенных в директивных документах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. — М.: Минздрав России, 1999, 116 с.
2. *McDonald J.C.* // Radiat. Prot. Dosimetry, 2009, **134**, № 1, P. 1–2.
3. *Cardis E., Vrijheid M., Blettner M. et al.* // BMJ, 2005, **89**, P. 1–7.
4. Отчет о прикладной научно-исследовательской работе «Обеспечение функционирования “Федерального банка данных индивидуальных доз облучения персонала организаций и населения на территориях, обслуживаемых учреждениями Федерального медико-биологического агентства”». Под научным руководством А.Г. Цовьянова. — М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2011, Ц-288, 188 с.

Поступила: 15.05.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

**С.В. Маткевич¹, В.И. Дога¹, Е.А. Ионов¹, В.И. Голубчиков¹,
П.С. Кызласов¹, Д.А. Мазуренко², Е.В. Берников²**

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ДИАГНОСТИКИ СТРИКТУР УРЕТРЫ

**S.V. Matkevich¹, V.I. Doga¹, E.A. Ionova¹, V.I. Golubchikov¹,
P.S. Kizlasov¹, D.A. Mazurenko², E.V. Bernikov²**

Modern Aspects of Urethral Stricture Diagnostics

РЕФЕРАТ

Для определения плана лечения стриктур уретры наибольшее значение имеют расположение, протяженность, количество стриктур, а также этиология заболевания.

В настоящее время существует несколько методов диагностики стриктур уретры. Наиболее часто используются ретроградная и микционная уретроцистография. Учитывая, что ретроградная уретрография проводится в косой проекции, возможна недооценка истинной протяженности стриктур бульбо-мембранозного отдела уретры. Наилучшим способом визуализации «задней уретры» является микционная цистоуретрография, которая позволяет определить проксимальную границу сужения и её функциональное значение. Ультразвуковое исследование позволяет с большей точностью определить протяженность стриктур бульбо-мембранозного отдела уретры. Компьютерная и магнитно-резонансная томография играют важную, но ограниченную роль в диагностике стриктур уретры, т.к. их информативность не превышает таковую для более простых и доступных методов. Значение этих исследований сводится к диагностике нарушений целостности костей таза, выявлению смещения предстательной железы и наличия внутритазовой гематомы у пациентов с посттравматическими повреждениями.

Всегда лучше определить метод лечения на предоперационном этапе, нежели принимать экстренные решения интраоперационно. Работа посвящена сравнительному анализу диагностической ценности различных методик.

Ключевые слова: *стриктура уретры, диагностика, различные методы*

ABSTRACT

To determine the treatment method of urethral strictures the most important is location, length, number of strictures, as well as the etiology of the disease.

Currently, there are several methods to diagnose urethral strictures. The most common ways to visualize the urethra are retrograde and voiding urethrocytography. It is known that urethrography conducted in an oblique projection may lead to underestimation of the true extent of bulbo-membranous urethra stricture. The best way to visualize proximal urethra is voiding urethrography allowed to define the proximal border of the restriction and its functional significance. Ultrasonography allows to identify the length of bulbar urethra stricture with greater precision. CT and MRI play an important but limited role in the diagnosis of urethral stricture, as their information content does not exceed a simple and affordable techniques. The significance of these methods is reduced with the diagnosis of pelvic fracture, revealing the displacement of the prostate and the presence of intrapelvic hematoma in patients with post-traumatic urethral injury.

At all times it is better to define the method of treatment in the preoperative phase, rather than to take emergency decision during the operation. The review deals with the definition of the diagnostic value of different methods.

Key words: *urethral stricture, diagnostics, various methods*

Введение

Частота встречаемости стриктур уретры в структуре заболеваний мочеполовой системы составляет около 6 %. Однако фактическая распространенность стриктур уретры выше, т.к. довольно часто у пациентов, предъявляющих жалобы на ослабление струи мочи, устанавливается неверный диагноз (атония мочевого пузыря, аденома предстательной железы, хронический простатит, хронический цистит и пр.). Истинное же заболевание выявляется лишь при дополнительном углубленном обследовании, а в ряде случаев не диагностируется вовсе [1].

Для определения способа хирургической коррекции, необходимо четко определить не только наличие стриктур, но и их количество, протяженность и степень сужения уретры [2]. Короткие стриктуры можно иссечь с наложением анастомоза конец в конец, в то время как протяженные стриктуры могут потребовать применения одного из вариантов заместительной пластики. Таким образом, предоперационная недооценка протяженности стриктуры может радикально изменить хирургическую тактику.

В настоящее время существует несколько способов визуализации уретры. Наиболее распространенными являются ретроградная уретроцистография и

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: aksonn@yandex.ru
² Лечебно-реабилитационный центр Минздрава России

¹ Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia. E-mail: aksonn@yandex.ru
² Medical and Rehabilitation Center, Ministry of Health, Moscow, Russia

микционная цистоуретрография. В дополнение к вышеуказанным методикам применяются такие методы как ультразвуковое исследование уретры, урофлоуметрия. Магнитно-резонансная и компьютерная томография применяются редко [3].

Нашей задачей является сравнительный анализ диагностической ценности различных методик и определение показаний к их использованию.

Методы диагностики стриктур уретры

Уродинамическое исследование. Урофлоуметрия выполняется всем пациентам с жалобами обструктивного характера на предоперационном этапе, через сутки после удаления уретрального катетера, а также при последующих визитах пациента для контроля качества произведенной операции и является скрининговой методикой [1, 4].

Исследование выполняется по стандартной методике с применением урофлоуметра (отдельно стоящего или в составе уродинамического комплекса): после появления достаточного позыва к мочеиспусканию, производится ультразвуковой контроль объема мочевого пузыря, после чего пациент мочится в воронку прибора. Результаты оцениваются по величине объемной скорости мочеиспускания $Q_{\max}$, продолжительности мочеиспускания и форме кривой, а так же по объему остаточной мочи (рис. 1, 2).

Удовлетворительным считается мочеиспускание с максимальной скоростью, равной или более 15 мл/с, при объеме мочеиспускания, превышающем 150 мл. Объем остаточной мочи не должен превышать 50 мл.

Ретроградная уретроцистография — рентген-контрастный метод визуализации уретры. Данный вид исследования наиболее информативен для визуализации пенильного отдела уретры. С целью улучшения визуализации исследование выполняется в положении пациента по Сгалитцеру (3/4) [5]. Правильное расположение пациента позволяет снизить степень проекционного укорочения стриктуры (рис. 3). Головка полового члена обрабатывается раствором антисептика, в уретру вводится контрастный наконечник (можно применять специально изготовленные конусообразные наконечники, или катетеры Фолея). Для контрастирования используются стерильные йодсодержащие контрастные вещества (чаще всего применяется урографин 60 % или ультравист-300), которые вводятся под небольшим давлением для того, чтобы избежать экстравазации и возможной травмы уретры в зоне стриктуры (гидробужирования). С целью фиксации наконечника и предотвращения вытекания контраста перед исследованием половой член оборачивается стерильной салфеткой по венечной борозде. Как правило, посредством исследования удается достаточно чет-

Рис. 1. Урофлоуметрия. Необструктивный тип мочеиспускания

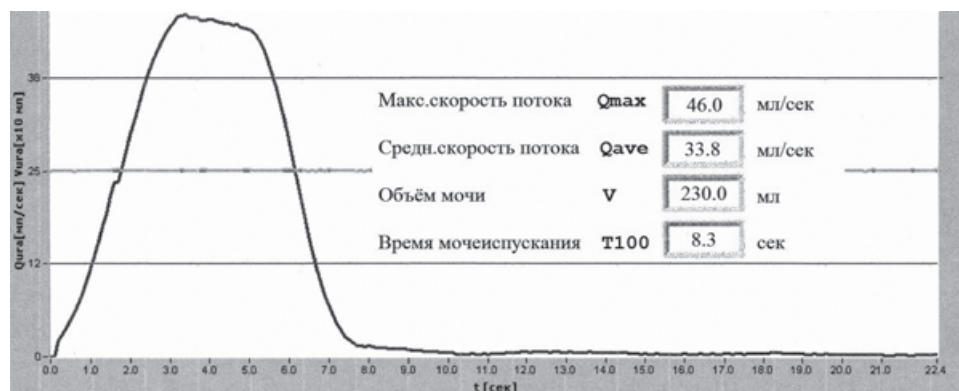
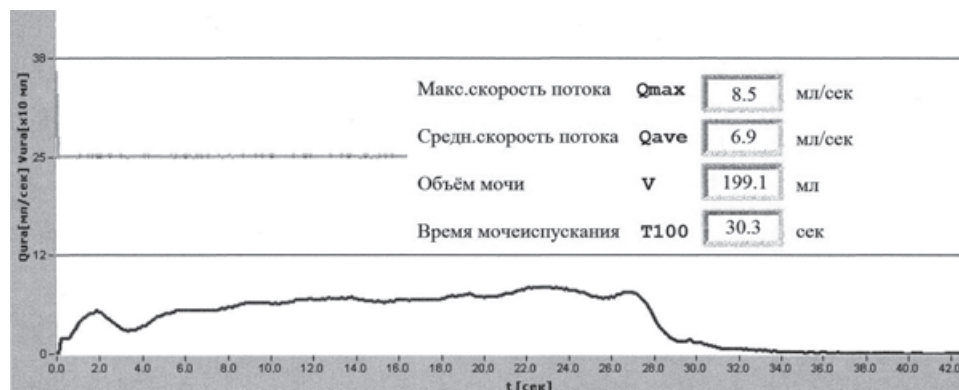


Рис. 2. Урофлоуметрия. Обструктивный тип мочеиспускания



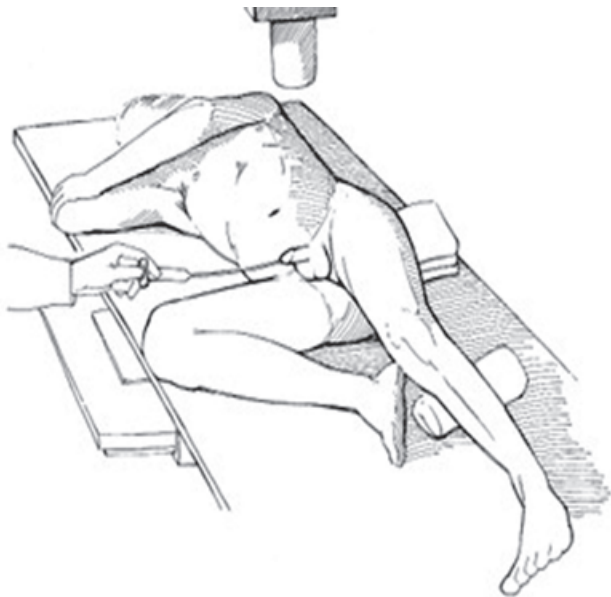


Рис. 3. Расположение пациента во время рентгенологического исследования

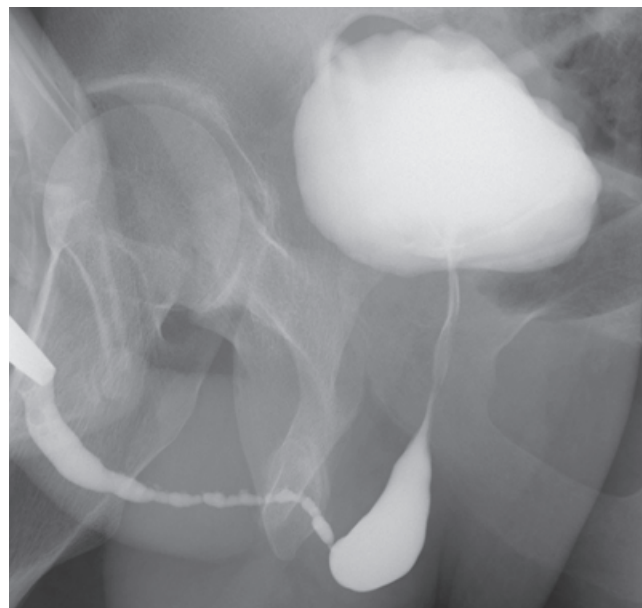


Рис. 4. Ретроградная уретроцистограмма. Протяженная стриктура уретры

ко определить характер поражения передней уретры (рис. 4). «Задний» отдел уретры также контрастируется в процессе исследования, однако при прохождении мембранозного отдела уровень контрастирования снижается. С целью улучшения визуализации «задней» уретры пациента просят помочиться в процессе исследования, тем самым расправляется задний сегмент уретры [6].

Микционная цистоуретрография. Данный вид рентгенконтрастного исследования используется в дополнение к ретроградной уретроцистографии для улучшения визуализации «задней» уретры. В противоположность ретроградному исследованию, при проведении микционной цистоуретрографии открывается шейка мочевого пузыря и достигается тугое наполнение простатического и бульбо-мембранозного отделов уретры [7, 8].

Для выполнения исследования мочевой пузырь наполняется ретроградно через установленный предварительно катетер, либо антеградно (через имеющийся цистостомический дренаж, а при отсутствии последнего возможно внутривенное введение контрастирующего препарата с последующим контролем наполнения мочевого пузыря через какое-то время). Пациент располагается так же, как при ретроградном исследовании (при невозможности мочиться лежа возможно поместить пациента вертикально). Снимки выполняются в процессе мочеиспускания (рис. 5 а, б).

Иногда в процессе исследования определяется поступление контраста в такие анатомические образования, как железы Литре, предстательную железу (рис. 6), а также Купферовы железы и протоки, что не должно расцениваться как экстравазация контрастного вещества. Контрастирование желез Литре чаще всего связано с воспалительными изменениями вследствие наличия стриктуры [9].

Ретроградная и микционная уретрография обычно просты и быстры в исполнении. Осложнения после исследования встречаются редко и происходят в основном вследствие венозной интравазации у пациентов с аллергией на контрастное вещество или у пациентов с активным воспалительным процессом, вследствие чего может возникнуть реакция на контрастное вещество или бактериемия. Также при чрезмерном нагнетании контраста во время исследования происходит травматизация зоны сужения (гидробужирование), после чего возможна уретроррагия [8, 10].

Помимо предоперационной визуализации, исследования выполняются и в послеоперационном периоде после удаления уретрального катетера для контроля адекватности выполненной операции. В дальнейшем исследования выполняются по мере необходимости при снижении максимальной объемной скорости мочеиспускания ниже 15 мл/с во время контрольных визитов пациента [1, 4].

Несмотря на то, что результаты ретроградного и микционного исследований обычно достаточно для диагностики, с целью определения границ спонгиоза

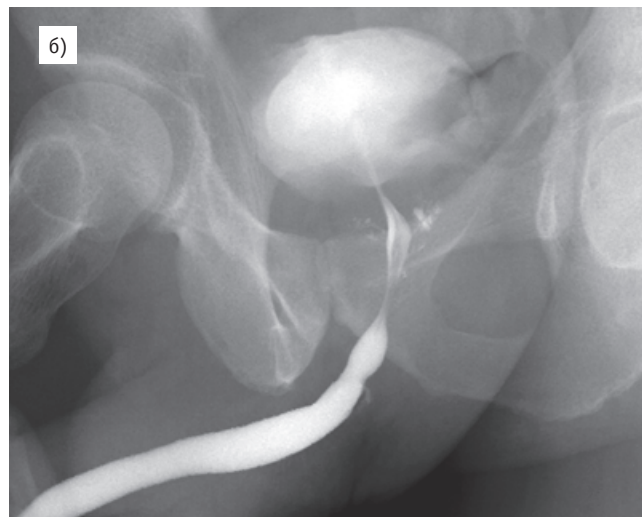
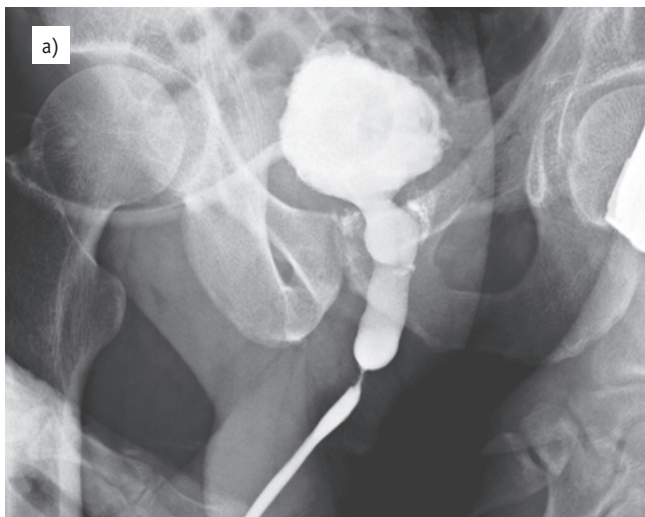


Рис. 5. Микционная цистоуретрограмма. Стриктура бульбозного отдела уретры до (а) и после (б) оперативного лечения



Рис. 6. Ретроградная уретроцистография.
Контрастирование протоков предстательной железы

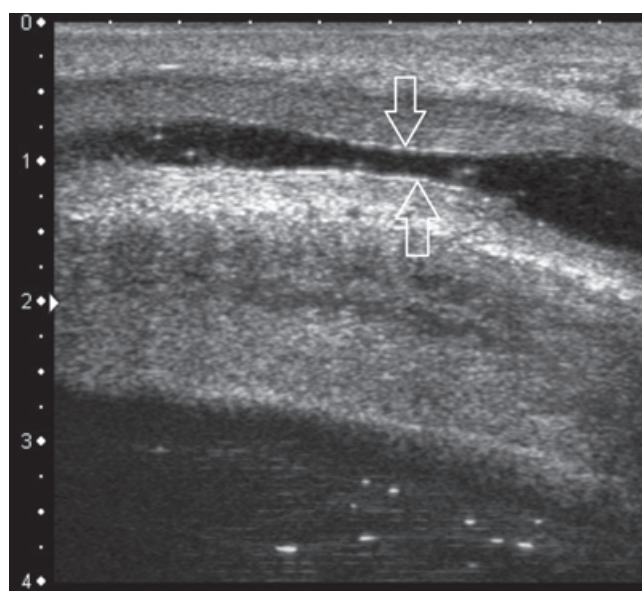


Рис. 7. УЗ-исследование уретры в области стриктуры

фиброза и состояния периуретральных тканей в некоторых случаях полезно прибегнуть к таким диагностическим методам, как ультразвуковое исследование уретры и магнитно-резонансная томография.

Ультразвуковое исследование уретры. Ультразвуковое исследование является менее распространенным методом визуализации уретры. Данный вид диагностики чаще используется для определения характеристик стриктур преимущественно бульбозного отдела уретры. Исследование проводится на фоне ретроградной инстиляции стерильного физиологического раствора (водного раствора хлоргексидина) через уретральный катетер или специальный нако-

нечник, как при ретроградной уретроцистографии. Высокочастотный (5–12 МГц) линейный датчик располагается по вентральной поверхности пенильного отдела уретры, а для визуализации бульбозного отдела датчик смещается на промежность [11].

Преимуществом ультразвукового исследования является его способность определения с минимальной погрешностью протяженности стриктур бульбомембранозного отдела уретры (рис. 7). В отличие от ретроградной уретроцистографии, ультразвуковой датчик ориентирован продольно по ходу мочеиспускательного канала, поэтому не происходит проекционного укорочения стриктуры. Эта информация

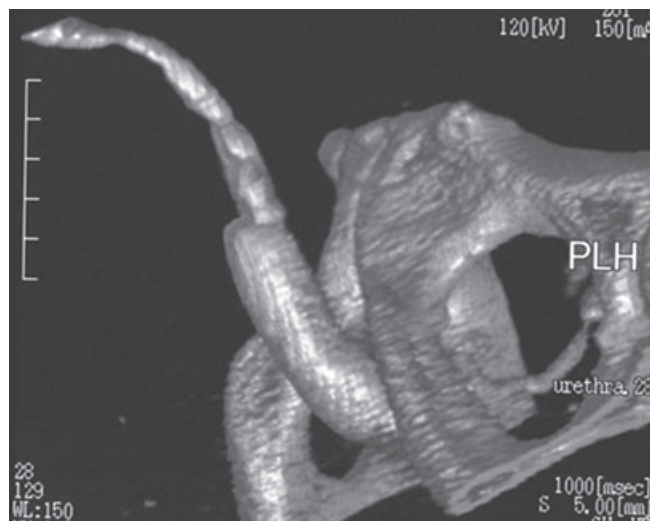


Рис. 8. Компьютерная томография.
Трехмерная реконструкция уретры, состояние после
лоскутной пластики

необходима для планирования техники оперативного лечения сужений бульбо-мембранозного отдела. При планировании заместительной пластики забор лоскута осуществляется в положении пациента лежа, что ограничивает время нахождения пациента в литотомическом положении и снижает риск развития позиционных осложнений [1, 4, 12–15].

Кроме того, ультразвуковое исследование может давать представление о мягких тканях, окружающих уретру, что позволяет оценить степень спонгиоза, окружающего суженную полость уретры. Зоны спонгиоза определяются как гиперэхогенные участки, окружающие полость уретры. Такие сведения нельзя получить посредством уретрографии. Вместе с тем информация о спонгиозе крайне важна для определения метода лечения и прогноза заболевания, поскольку степень спонгиоза прямо пропорциональна риску рецидива стриктуры [16]. К недостаткам ультразвукового метода можно отнести необходимость высокой подготовки специалиста для выполнения процедуры и интерпретации результатов исследования.

Микционная компьютерная томография уретры. Нередко для визуализации уретры используют многосрезовую компьютерную томографию. Преимущества КТ заключаются в скорости выполнения сканирования и возможности точного определения расположения и протяженности стриктуры. С целью проведения исследования возможно внутривенное введение контрастного вещества с отсрочкой исследования во времени для тугого наполнения мочевого пузыря. Альтернативно, мочевой пузырь может быть заполнен ретроградно через уретральный катетер, который удаляется до исследования (рис. 8).

Пациент располагается на столе и по сигналу начинает мочиться, что служит началом сканирования [17].

У данной методики есть ряд недостатков. Во-первых, во время мочеиспускания может происходить недостаточно тугое наполнение пенильной уретры, что затрудняет диагностику стриктур этой локализации. Если пациент запускает сканирование и не начинает адекватно мочиться, информативность исследования снижается и может потребоваться повторная процедура, что увеличивает лучевую нагрузку на половые органы. Во-вторых, существует риск нефротоксичности и аллергических реакций на йодсодержащие контрастные вещества. Более того, информацию о состоянии уретры можно получить более дешевыми и традиционными способами [2].

Магнитно-резонансная томография. Для диагностики стриктур уретры магнитно-резонансная томография практически не применяется. Метод не получил широкого использования вследствие его дороговизны и трудности выполнения. В большинстве случаев исследование менее информативно по сравнению с традиционными методами, однако МРТ может быть полезна для оценки парауретральных тканей при травматическом повреждении задней уретры. Для диагностики активности периуретрального воспаления, которое наблюдается у пациентов со спонгиозом, применяется МРТ с внутривенным контрастированием, поскольку процессы воспаления в тканях способствуют накоплению контрастного вещества [18, 19]. С целью улучшения визуализации полости уретры последняя может быть заполнена изотоническим раствором. Для получения детальной анатомической информации желательно ввести контрастное вещество в уретру перед исследованием. На половой член накладывают МРТ-совместимый зажим и выполняют исследование. Для полной визуализации необходимы оба режима T_1 и T_2 с подавлением сигнала от жира. На T_2 -взвешенных изображениях любые содержащие жидкость структуры будут отображаться гиперинтенсивными, что затрудняет диагностику связанных и разобщенных с уретрой жидкостных образований, в то время как при контрастировании уретры на T_1 -взвешенных изображениях гиперинтенсивными будут только уретра и сообщающиеся с ней структуры. МРТ также может быть информативной для выявления пациентов с травматическим повреждением задней уретры (рис. 9), поскольку позволяет оценивать состояние периуретральных мягких тканей, предстательной железы и диагностировать возможную внутритазовую гематому [19, 20].

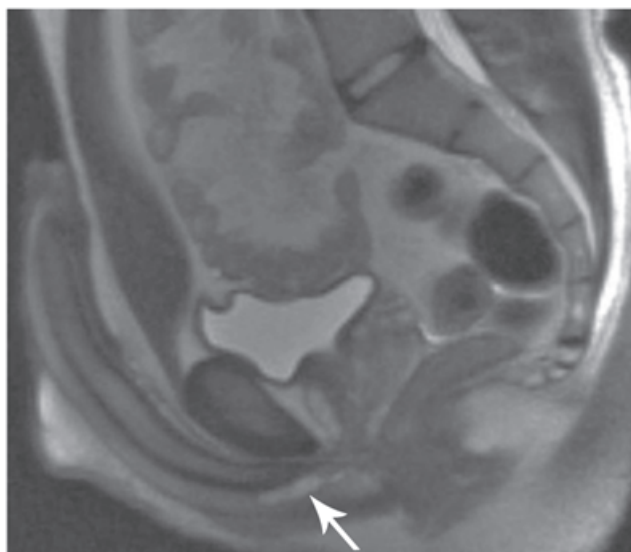
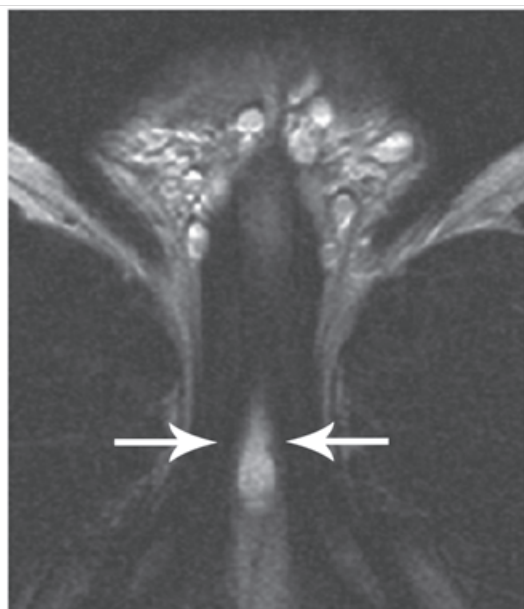


Рис. 9. МРТ. Стрелками показано расположение посттравматической гематомы

Заключение

Несмотря на появление новых методов визуализации, рентгенологическое исследование по-прежнему остается золотым стандартом диагностики стриктур уретры. Из недостатков рентгенологического исследования стоит отметить проекционную недооценку истинной протяженности стриктур бульбозного отдела уретры. Для получения более полного представления о протяженности стриктуры возможно выполнение ультразвукового исследования. УЗИ позволяет определить истинную протяженность дефекта и границы спонгиоза.

При непротяженных дефектах (менее 2,5 см) возможно применить анастомотическую пластику, в то время как коррекция протяженных стриктур может потребовать заместительной пластики уретры. Преимуществом предоперационной УЗ-диагностики протяженных стриктур является то, что забор лоскута для заместительной пластики может осуществляться в положении лежа на спине, что сокращает пребывание пациента в литотомическом положении и снижает риск позиционных осложнений.

Таким образом, диагностический алгоритм у пациентов с жалобами обструктивного характера должен включать в себя урофлоуметрию, при снижении максимальной скорости мочеиспускания ниже 15 мл/с — рентгенологическое исследование, а именно ретроградную уретроцистографию для визуализации пенильного отдела уретры и микционную цистоуретрографию для визуализации проксимального отдела уретры. Результаты вышеуказанных методик в комбинации, при необходимости, с ультразвуковым исследованием в большинстве случаев вполне достаточно для определения необходимых характеристик стриктуры. Диагностическая ценность КТ и МРТ сводится к выявлению изменений окружающих мягких тканей, связанных с травматическим повреждением уретры.

Всегда лучше определить метод лечения на предоперационном этапе, нежели принимать экстренные решения интраоперационно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фахретдинов Г.А.* Отдаленные результаты эндоскопического лечения стриктур мочеиспускательного канала. — М.: Автореф. дисс. канд. наук, 2011, 10 с.
2. *Schreiter F., Jordan G.H.* Urethral Reconstructive Surgery. — Würzburg: Springer Medizin Verlag, 2006, P. 62—64.
3. *Brandes S.B.* Urethral Reconstructive Surgery. — Totowa: Humana Press, 2008, P. 29—42.
4. *Бабыкин А.В.* Реконструктивная хирургия протяженных стриктур уретры у мужчин. — М.: Автореф. дисс. канд. мед. наук, 2008, С. 3—7.

5. Топчан А.Б., Финкельштейн П.И. Рентгенологический атлас по урологической диагностике. — М.: МЕДГИЗ, 1947, 99 с.
6. Kirshy D.M., Pollack A.H., Becker J.A., Horowitz M. Autourethrography. // Radiology, 1991, **180**, No. 2, P. 443–445.
7. Gallentine M.L., Morey A.F. Imaging of the male urethra for stricture disease. // Urol. Clin. N. Amer., 2002, **29**, No. 2, P. 361–372.
8. Rosen M.A., McAninch J.W. Preoperative staging of the anterior urethral stricture. // In: “Traumatic and Reconstructive Urology”. — Philadelphia, Saunders, 1996, P. 551–564.
9. Kawashima A., Sandler C.M., Wasserman N.F. et al. Imaging of urethral disease: a pictorial review. // Radiographics, 2004, **24**, P. 195–216.
10. Pavlica P., Barozzi L., Menchi I. maging of male urethra. // Eur. Radiol., 2003, **13**, No. 7, P. 1583–1596.
11. Shabsigh R., Fishman I.J., Krebs M. The use of transrectal longitudinal real-time ultrasonography in urodynamics. // J. Urol., 1987, **138**, No. 6, P. 1416–1419.
12. Gluck C.D., Bundy A.L., Fine C. et al. Sonographic urethrogram. Comparison to roentgenographic techniques. // J. Urol., 1988, **140**, No. 6, P. 1404–1408.
13. Gupta S., Majumdar B., Tiwari A. et al. Sonourethrography in the evaluation of anterior urethral strictures: correlation with radiographic urethrography. // J. Clin. Ultrasound., 1993, **21**, No. 4, P. 231–239.
14. McAninch J.W., Laing F.C., Jeffrey R.B. Jr. Sonourethrography in the evaluation of urethral strictures: a preliminary report. // J. Urol., 1988, **139**, P. 294–297.
15. Pushkarna, Bhargava, Jain. Ultrasonographic evaluation of abnormalities of the male anterior urethra. // Ind. J. Radiol. Imag., 2000, Suppl. 10, No. 2, P. 89–91.
16. Choudhary S., Singh P., Sundar E. et al. A comparison of sonourethrography and retrograde urethrography in evaluation of anterior urethral strictures. // Clin. Radiol., 2004, **59**, P. 736–742.
17. Chou C.P., Huang J.S., Wu M.T. et al. CT voiding urethrography and virtual urethroscopy preliminary study with 16-MDCT. // Amer. J. Roentgenol., 2005, **184**, No. 6, P. 1882–1888.
18. Dixon C.M., McAninch J.W. Preoperative staging of posterior urethral disruptions. // In: “Traumatic and Reconstructive urology”. McAninch (ed). — Philadelphia, Saunders, 1996, P. 377–384.
19. Gallentine M.L., Morey A.F. Imaging of the male urethra for stricture disease. // Urol. Clin. N. Amer., 2002, **29**, No. 2, P. 361–372.
20. Ryu J., Kim B. MR imaging of the male and female urethra. // Radiographics, 2001, **21**, No. 5, P. 1169–1185.

Поступила: 11.06.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

**О.П. Трофимова, И.Ю. Кубасова, И.В. Колядина, С.И. Ткачев,
Н.П. Шипилина, В.А. Хайленко, А.А. Маклакова, И.М. Лебеденко**

**ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ УСКОРЕННОГО ЧАСТИЧНОГО
ОБЛУЧЕНИЯ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОСЛЕ
ОРГАНОСОХРАНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ У БОЛЬНЫХ РАННИМ
РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

**O.P. Trofimova, I.Y. Kubasova, I.V. Kolyadina, S.I. Tkachev,
N.P. Shipilina, V.A. Khajlenko, A.A. Maklakova, I.M. Lebedenko**

**Experience of Accelerated Partial Breast Irradiation after
Organ-Preserving Surgery in Patients with Early Breast Cancer in BRCC**

РЕФЕРАТ

Цель: Разработка новой методики лучевой терапии после органосохраняющих операций у больных ранним раком молочной железы (РМЖ).

Материал и методы: В исследование включены 53 больных с верифицированным РМЖ в стадиях $T_{1-2}N_{0-mic}M_0$, проходивших лечение в РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН в 2008–2013 гг. Медиана возраста больных 65 лет. Медиана наблюдения 30 мес. Больным проводилось органосохраняющее лечение, включающее радикальные резекции с последующей ускоренной частичной лучевой терапией. Проведение лучевого воздействия по этой методике выполнялось больным, полностью соответствующим критериям тщательного отбора. Для четкой визуализации и адекватного определения объема ЛТ у 92 % больных проведено клипирование ложа удаленной опухоли с использованием металлических клипс. Всем больным проведена конформная лучевая терапия. РОД 2,5 Гр дважды в день, суточная доза 5 Гр, суммарная 40 Гр (16 фракций). Указаны критерии включения больных для проведения этой методики лучевого воздействия, приведены результаты рандомизированных исследований.

Результаты: При медиане наблюдения 30 мес локальные и локо-регионарные рецидивы, отдаленные метастазы не были зафиксированы ни у одной больной.

Вывод: Проведение ускоренного частичного облучения молочной железы у тщательно отобранных больных ранним раком молочной железы показывает результаты лечения, сопоставимые с результатами после проведения облучения всей оставшейся молочной железы.

Ключевые слова: лучевая терапия, рак молочной железы, локальный рецидив, ускоренное частичное облучение

ABSTRACT

Purpose: To increase the radiation therapy efficacy in breast cancer patients.

Material and methods: The study included 53 patients with verified breast cancer in stages $T_{1-2}N_{0-mic}M_0$ treated in 2008–2013. The median age of the patients was 65 years. Median follow-up study for 30 months was conducted. The patients were undergone to organ-preserving treatment, including radical resection followed with accelerated partial radiation therapy. This method of radiation therapy was used in patients who were carefully selected accordingly to strict criteria. For a clear visualization and adequately determine the volume of the tissue irradiated in 92 % of patients the clipping of bed removed tumor was held using metal clips. All patients had conformal radiation therapy: 2,5 Gy twice a day, daily dose of 5 Gy, (for 16 days) summary dose 40 Gy. The criteria of patients selecting to this method of radiation therapy and results of randomized controlled trials are described.

Results: Within a median follow-up study for 30 months, no local and loco-regional recurrences, as well as distant metastases were observed.

Conclusion: Proposed method of accelerated partial breast irradiation of patients with early breast cancer carefully selected shows the results comparable with those of the entire remaining breast exposure.

Key words: radiotherapy, breast cancer, local recurrences, accelerated partial irradiation

Рак молочной железы (РМЖ), поражающий ежегодно более 59 тыс. женщин в России, по-прежнему привлекает наибольшее внимание клиницистов. Число женщин, погибающих от этого заболевания, составляет приблизительно половину от общего количества заболевших.

РМЖ в структуре онкологических заболеваний среди женщин в России прочно занимает в течение последних десятилетий первое место. По мере улучшения ранней диагностики увеличивается доля ранних форм заболевания. Но важно не только выявить опухолевый очаг в молочной железе в результате

маммографического скрининга, не менее важным моментом является проведение адекватного лечения всех выявленных больных и последующее их обследование [1].

Известно, что женщины с выявленным ранним раком молочной железы стоят перед выбором варианта комплексного лечения — мастэктомия или органосохраняющее лечение, включающее экономные операции с последующей лучевой терапией. Системное лечение назначается по определенным показаниям и не зависит от объема выполненной операции.

В настоящее время лучевая терапия (ЛТ) является неотъемлемой частью органосохраняющего лечения больных РМЖ, т.к. она уменьшает частоту локальных рецидивов в 3–4 раза, увеличивает показатели общей 15-летней выживаемости на 20 % за счет уменьшения гибели больных от прогрессирования заболевания [2–4].

Органосохраняющее лечение при современных технологиях лучевой терапии приводит к минимальным поздним осложнениям, хорошему косметическому результату, снижению психологической травмы у пациенток, создает благоприятные условия для социальной и трудовой реабилитации. В большинстве клиник ЛТ проводится 5 раз в неделю в дозе 1,8–2 Гр за фракцию, суммарная доза на оставшуюся часть молочной железы составляет 50 Гр, на зоны регионарного лимфооттока – 46–50 Гр. В некоторых зарубежных онкологических клиниках применяются отличные от классического режимы фракционирования дозы ЛТ больных РМЖ [4–7].

Но часть больных РМЖ при выборе варианта лечения отказывается от выполнения сохранных операций, узнав о необходимости продолжительного курса послеоперационной ЛТ [8]. Нельзя забывать и о длительной очереди на этот вид лечения во всех странах вследствие катастрофической нехватки аппаратов и медицинских кадров для проведения лучевой терапии [9].

Риск развития ранних и поздних лучевых повреждений нормальных тканей является одним из сдерживающих факторов в попытке сократить длительность адъювантной ЛТ за счет повышения разовых очаговых доз. Безусловно, их частота и выраженность зависят от объема тканей молочной железы, легких и сердца, входящих в зону лучевого воздействия, наличия современного оборудования для ЛТ, методики облучения.

Логично думать о более безопасном сокращении длительности курса адъювантной ЛТ за счет повышения дозы за фракцию в том случае, когда объем нормальных тканей, включенных в зону облучения, будет значительно минимизирован.

Результаты анализа многих исследований показали, что локальные рецидивы в 73–95 % случаев располагаются в зоне первичной опухоли [10].

Все эти условия и стали предпосылками к возникновению нового направления ЛТ у больных ранним РМЖ – ускоренного частичного облучения молочной железы (APBI – Accelerated Partial Breast Irradiation), когда в адъювантном периоде после органосберегающих операций объем лучевого воздействия ограничивается только ложем удаленной опухоли с добавлением определенных отступов.

APBI подразумевает:

- Облучение ограниченного объема ткани железы.
- Увеличение разовой дозы облучения.
- Сокращение сроков ЛТ (полное лечение за одну неделю после операции вместо 6–7 недель).
- Снижение риска развития ранних и поздних лучевых повреждений, улучшение качества жизни.

В настоящее время, в основном, используются следующие методики проведения ускоренного частичного облучения молочной железы:

- интраоперационная ЛТ на ложе удаленной опухоли с подведением дозы 15–17–21 Гр за один сеанс. Для ее проведения используются аппараты с применением пучка электронов с энергией 3, 5, 7 и 9 МэВ (мобильный линейный ускоритель NOVAK 7 с роботизированной рукой и аппликаторами 4–10 см в диаметре), либо потока фотонов энергией 50 кВ (INTRABEAM), либо внутрисполостной брахитерапии с использованием балонного катетера MammoSite (с источником Ir-192);
- брахитерапия (LDR и HDR), успешно применяемая во многих клиниках;
- дистанционная ЛТ с использованием современных технологий (3D CRT, IMRT [11–12]).

Критерии тщательного отбора больных ранним РМЖ для проведения ЛТ после органосохраняющих операций по методике APBI были разработаны европейскими коллегами и окончательно доработаны американскими экспертами после тщательного анализа данных 645 статей, 4 рандомизированных и 38 проспективных исследований.

Выводы оформлены ими как «Рекомендации консенсуса ASTRO по проведению APBI» [14] и рекомендации [15], опубликованные в 2009 г. Экспертная группа не рекомендовала носителям BRCA1 или BRCA2 мутаций и пациенткам с семейным анамнезом РМЖ применять методику APBI в связи с отсутствием надежных данных по ее использованию у этой категории больных. По этой же причине пока исключаются из исследований больные с DCIS.

Критериями возможного проведения ускоренного частичного облучения молочной железы у больных ранним РМЖ после органосохраняющих операций являются:

- немолодой возраст больных (в рекомендациях Италии – старше 55 лет, в рекомендациях США – старше 60 лет, в рекомендациях 12-й конференции экспертов в Сен-Галлене – старше 70 лет);
- наличие только одного опухолевого узла размерами не более 2 см (в Европе не более 3 см);
- отсутствие пораженных лимфатических узлов pN₀;
- отсутствие признаков сосудистой инвазии;
- отсутствие выраженного внутрипротокового компонента;

- отсутствие опухолевых клеток в краях резекции на расстоянии не менее 2 мм;
- гистологическая форма — не дольковый рак;
- опухоли, положительные по рецепторам эстрогенов.
- не допускается проведение неоадьювантной полихимиотерапии (в рекомендациях ASTRO) [14, 15].

Невыполнение любого из перечисленных положений может привести к неудовлетворительным показателям локального контроля, развитию поздних токсических эффектов и достижению неудовлетворительных косметических результатов.

Клинический объем мишени (CTV) определяется Международной комиссией по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ) как наглядно определяемый объем опухоли (GTV) и / или предполагаемое субклиническое распространение заболевания. Определение CTV как ложе опухоли + отступ 15 мм основано на анатомическом расположении мультифокального и мультицентрического заболевания вокруг первичной опухоли по результатам гистологического исследования после мастэктомии и клинического расположения локальных рецидивов после органосохраняющих операций.

Отступ CTV-PTV (Planning Treatment Volume), равный 10 мм, является адекватным также по результатам многих исследований. Однако он может быть не адекватным у следующих пациенток:

- у женщин с большой молочной железой (объем груди более 1500 см³), у которых ткань молочной железы движется независимо от грудной клетки;
- у пациенток с большой по объему серомой, которая движется не по геометрическим законам;
- в тех случаях, когда нет клипс, а серома подверглась рассасыванию [16].

Stroom J. et al. утверждают, что отступ от ложа опухоли для CTV может отличаться в различных направлениях и зависит от величины краев резекции. В случае узкого края резекции отступ должен быть больше [17].

Большинство авторов делают вывод о необходимости отступа 5 мм между PTV и кожей, PTV и грудной стенкой [17].

Проанализировав результаты 5 исследований (IRMA, IMPORT-Low, Danish Breast Cancer Group, NSABPB-39, RTOG 0413), Kirby A.M. et al. пришли к выводу, что оптимальным вариантом при выборе ложа удаленной опухоли являются определяемые на КТ-срезах хирургические клипсы (от 3 до 12), реже — ультразвуковое исследование для определения расположения серомы в случае отсутствия рентгеноконтрастных клипс. Во всех 5 исследованиях отступы для

CTV были равны 15 мм, а отступ между CTV и PTV — 10 мм [16].

Для проведения APBI рекомендации ASTRO, NSABP B39/RTOG-0413 предписывают в случае применения брахитерапии использовать дозу лучевого воздействия 3,4 Гр дважды в день до суммарной дозы 34 Гр (10 фракций), а в случае проведения дистанционной конформной ЛТ использовать разовую дозу 3,85 Гр дважды в день до суммарной дозы 38,5 Гр (10 фракций). Методика дистанционной конформной 3D CRT APBI является неинвазивной, доступной для многих радиологических клиник, ее отличает создание более гомогенного распределения дозы в сравнении с брахитерапией. Дозы, подводимые при однофракционной интраоперационной ЛТ, колеблются от 17 до 21 Гр в различных клиниках.

Bentzen S.M. и Yarnold J. в своем докладе «Reports of unexpected late side-effects of accelerated partial breast irradiation — radiobiological considerations» [18] тщательно проанализировали методики подведения дозы в различных клиниках при применении ускоренного частичного облучения молочной железы и результаты лечения. Авторами были сделаны выводы о том, что при расчете доз на молочную железу целесообразно применять коэффициент $\alpha/\beta = 3,4$ Гр для профилактики возникновения фиброза мягких тканей. Посредственный и плохой косметический результат после оперативного вмешательства коррелирует с развитием более выраженного фиброза мягких тканей после ЛТ. Проведение химиотерапии и гормонотерапии может индуцировать фиброз мягких тканей. Возможно, доза 38,5 Гр (65–68 изоГр) является несколько завышенной для этой группы больных с очень низким риском возникновения рецидива опухоли.

На частоту и степень лучевых повреждений также влияют объем удаленных тканей, соотношение объема облученных тканей ко всему объему молочной железы, объемы тканей, получившие 50 и 100 % предписанной дозы [18].

Необходимо тщательно рассчитывать подводимую дозу, отличную от рекомендованных, в связи с риском возникновения выраженных лучевых повреждений. Так, в исследовании итальянских радиологов Pinnaro P., Arcangeli S., Giordano C. из Regina Elena National Cancer Institute (Рим, Италия) ускоренное частичное облучение больных РМЖ проводилось методикой дистанционной ЛТ за одну фракцию с РОД 18–21 Гр. В этом исследовании выраженный фиброз тканей молочной железы (2–3 степень по классификации RTOG–EORTC) отмечен при медиане наблюдения 3 года у 44 % больных. Посредственный и плохой косметический эффект зарегистрирован у 41 % пациенток [19].

Хотя применяемые в настоящее время методики АРБИ различаются по поглощенным дозам ЛТ, объему нормальных тканей, подвергшихся лучевому воздействию, способам подведения дозы, их всех объединяет стремление к сокращению сроков послеоперационной лучевой терапии с 5–8 недель до 1–1,5 недель или даже меньшему сроку.

Длительный срок наблюдения за пациентками показал, что частота возникновения локальных рецидивов при АРБИ не отличается от таковой при лучевом воздействии на всю оставшуюся часть молочной железы при обязательном соблюдении критериев тщательного отбора больных для проведения ЛТ по методике АРБИ и составляет от 1,5 до 6,1 % по данным различных клиник.

Leonardi M.C. et al. проанализировали результаты лечения более 1800 больных ранним РМЖ, которым после органосохраняющих операций проводилась интраоперационная ЛТ электронным пучком в рамках исследования Milan III ELIOT trial. В соответствии с критериями ASTRO отбора больных для проведения ЛТ по методике АРБИ все больные были разделены на подгруппы: полностью соответствующие критериям отбора (294 больных); частично соответствующие (691 больная); не соответствующие (812 больных). 5-летняя частота локорегионарных неудач составила 1,5; 4,4 и 8,8 % соответственно ($p = 0,0003$) [20].

Wobb J. et al. из William Beaumont Hospital (США) на ASCO-2013 представили результаты лечения 3009 больных ранним РМЖ $T_{1-2}N_0M_0$. Пациенткам было проведено органосохраняющее лечение, в комплекс которого входила ЛТ: по методике АРБИ – 481 больная (интерстициальная брахитерапия и однокатетерная брахитерапия (MammoSite), а ЛТ на всю молочную железу проведена 2528 больной. При медиане наблюдения в 8,1 года не было зафиксировано различий в показателях безрецидивной выживаемости, частоте локальных рецидивов, отдаленных метастазов у больных обеих групп. 10-летние показатели общей выживаемости составили 83 % при облучении всей молочной железы и 75 % – в группе с АРБИ ($p = 0,34$) [21].

Jagsi R., Ben-David M.A., Moran J.M. из отдела радиационной онкологии Мичиганского университета (Ann Arbor, USA) привели данные о проведении АРБИ 34 больным ранним РМЖ, медиана наблюдения составила 2,5 года, лечение проводилось с использованием методики IMRT с РОД 3,85 Гр, суточной дозой 7,7 Гр, дозой за весь курс лечения 38,5 Гр. У 7 больных развились неприемлемые косметические результаты, в связи с чем произошло раннее закрытие исследования. При анализе выяснилось, что хороший косметический эффект был зарегистрирован у больных с меньшим объемом молочной железы, получившим предписанную дозу 38,5 Гр (15,5 % против 23 %, $p =$

0,02). Объем молочной железы, получившей 19,25 Гр (50 % предписанной дозы, V_{50}) также влиял на косметический результат. В случае, если 34,6 % тканей молочной железы получали 19,25 Гр, то был отмечен хороший косметический результат, при 46,1 % – плохой ($p = 0,02$). Авторами сделан вывод о необходимости учета объемов молочной железы, получивших 50 % и 100 % предписанной дозы при проведении АРБИ [22].

Помимо частоты локальных неудач одним из показателей проведенного лечения является косметический эффект. Ведь именно стремление женщины сохранить привлекательную и красивую молочную железу мобилизовало умы хирургов к разработке методик органосохраняющих операций, а женщин – к согласию на проведение курсов послеоперационной ЛТ. Поэтому достижение отличного и хорошего косметического эффекта является достаточно важным показателем всего проведенного органосохраняющего лечения. Косметический эффект проведенного лечения определялся методами объективной и субъективной оценки: а) экспертная оценка двумя специалистами – хирургом и радиологом с соответствующей записью в амбулаторной карте больной; б) фотографический метод, оценка эффекта лечения по анкетам, заполняемым пациентками. При этом косметический эффект оценивался по четырехступенчатой шкале, принятой в Joint Center for Radiation Therapy [23]:

1. Прекрасный косметический эффект – это полная симметричность молочных желез, отсутствие поздних лучевых повреждений кожи и подкожно-жировой клетчатки (ПЖК).

2. Хороший косметический эффект – незначительная асимметрия молочных желез, вызванная послеоперационными рубцовыми изменениями и/или ПЖК 1 степени.

3. Удовлетворительный косметический эффект – выраженная асимметрия, деформация молочной железы, вызванная послеоперационными рубцовыми изменениями и/или поздними лучевыми повреждениями кожи и ПЖК 2 степени.

4. Плохой косметический эффект – значительная асимметрия и деформация молочных желез, вызванная послеоперационными рубцовыми изменениями и поздними лучевыми повреждениями кожи и ПЖК 3 и 4 степени, а также отсутствие сосково-ареолярного комплекса, обусловленное объемом удаленного сектора молочной железы.

Материал и методы

Представлены предварительные результаты ускоренного частичного облучения молочной железы 53 больным ранним РМЖ.

В РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН с февраля 2008 г. проводится тематическое исследование ускоренного частичного облучения больных ранним РМЖ после органосохраняющего лечения.

Отбор больных проводился с тщательным соблюдением рекомендаций ASTRO и GEC-ESTRO (2009). В исследование включены 53 пациентки с диагнозом рак молочной железы $pT_{1-2}N_{0-mic}M_0$, получивших органосохраняющее лечение в клинике РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН в 2008–2013 гг. Возраст больных колебался от 52 до 77 лет (медиана 65 лет). Медиана наблюдения составила 30 мес (3–65 мес).

По данным гистологического исследования размеры опухоли до 1 см были у 15 (28,3 %) больных, до 2 см – у 25 (47,2 %), до 3 см – у 11 (20,7 %), у 2 (3,8 %) больных размер опухоли был до 3,5 см.

Инфильтративный протоковый рак был выявлен у 52 (98 %) больных, в одном случае зафиксирован смешанный протоковый и дольковый рак.

Степень злокачественности определена как G2 у 39 (74 %) больных, у 14 (26 %) больных – как G1; признаки сосудистой инвазии в виде единичных раковых эмболов выявлены у 2 (3,8 %) больных.

При выполнении гистологического исследования изучено от 6 до 28 лимфатических узлов (медиана – 10), у 52 (98 %) больных пораженные лимфатические узлы не определялись, только в одном случае (2 %) выявлен микрометастаз рака в одном лимфатическом узле.

Края резекции исследованы у всех 53 пациенток, опухолевые клетки не были обнаружены ни в одном случае.

Для четкой визуализации и адекватного определения объема ЛТ у 92 % больных проведено клипирование ложа удаленной опухоли с использованием металлических клипс, изготовленных из титановой проволоки определенного профиля (рис. 1). Титан, применяемый для производства хирургических клипс, является биологически инертным, рентгеноконтрастным и немагнитным материалом. Специальным образом обработанный титановый

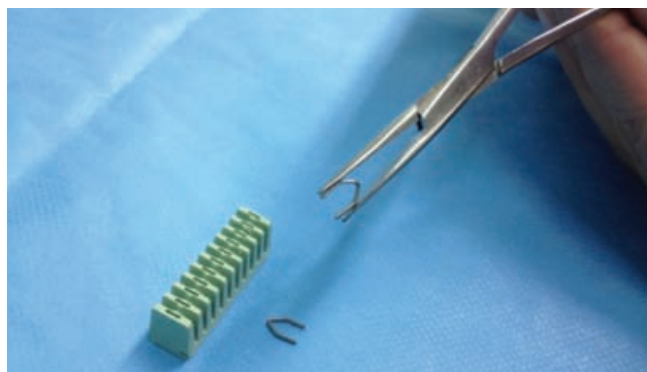


Рис. 1. Рентгеноконтрастная клипса

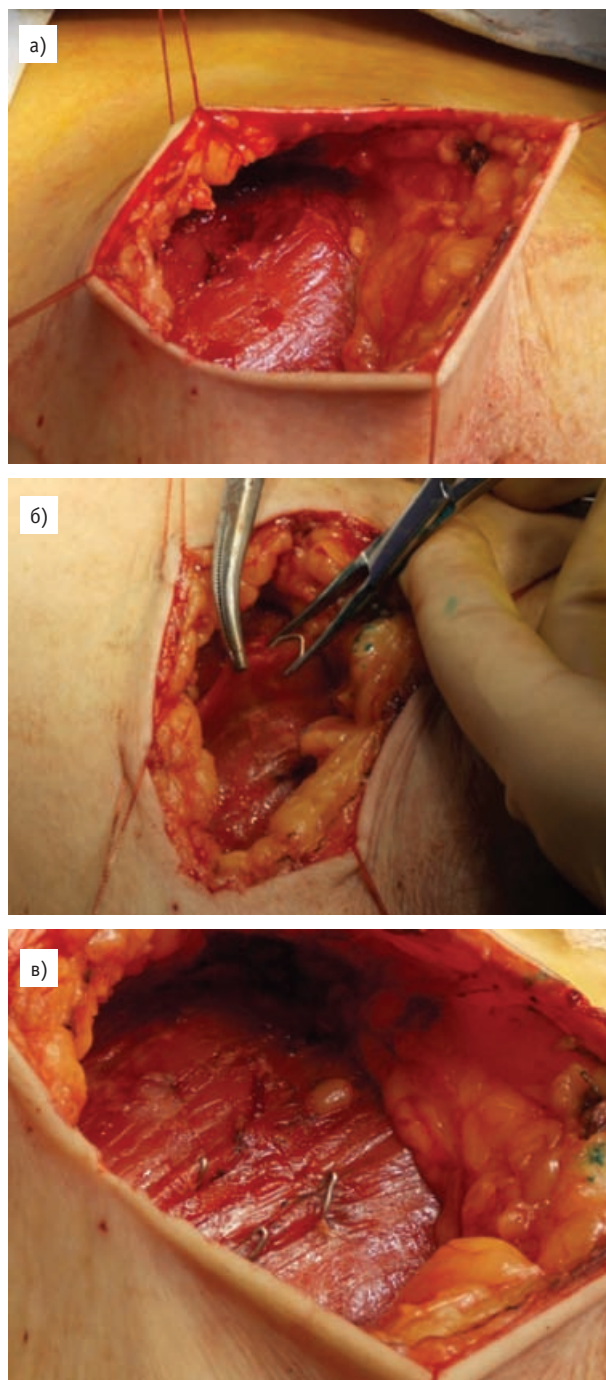


Рис. 2. Клипирование ложа удаленной опухоли при радикальной резекции молочной железы:
а) этап радикальной резекции молочной железы, выполненной из двух разрезов, «дном» удаленного сектора является большая грудная мышца;
б) клипсы фиксированы к мышце;
в) вид операционной раны после клипирования с использованием трех клипс.

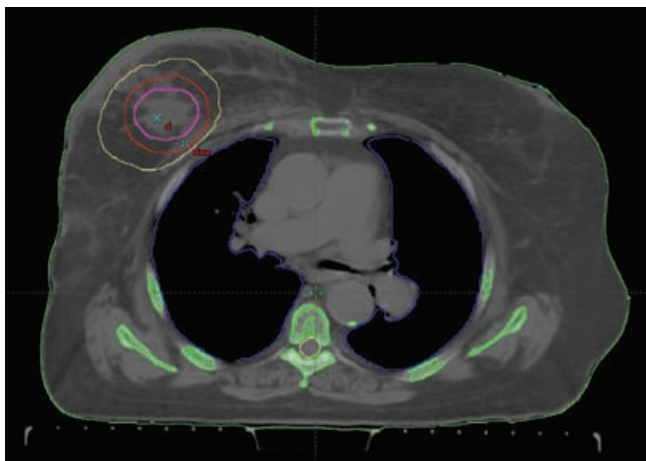


Рис. 3. Этап оконтуривания. На КТ-срезах – рентгеноконтрастная клипса, GTV, CTV и PTV



Рис. 4. Положение больной на позиборде во время предлучевой подготовки

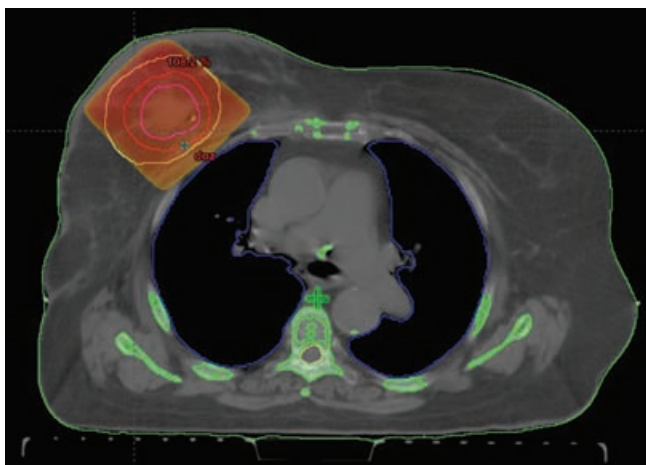


Рис. 5. Изодозное распределение – лечение с трех фотонных полей

сплав имеет нулевую память формы, что позволяет избежать отсроченного, самопроизвольного размыкания клипсы и обеспечивает ее надежную фиксацию в ранее установленном месте.

Выбор места фиксации клипсы (грудная мышца или ткань молочной железы) определяется объемом выполненной операции и локализацией первичной опухоли. При радикальной резекции молочной железы и при глубоком расположении первичной опухоли клипсы фиксируются в зоне проекции ложа удаленной первичной опухоли непосредственно к грудной мышце, которая образует «дно» удаленного сектора. Этапы клипирования изображены на рис. 2 (а, б, в).

На рис. 3 представлен КТ-срез тела пациентки с четко определяемой рентгеноконтрастной клипсой, служащей ориентиром для выбора объема лучевого воздействия.

При планировании мы ориентировались на международные принятые рекомендации по величине отступов, они составляли 10–15 мм от ложа опухоли до CTV и 10 мм между CTV и PTV.

Дистанционная лучевая терапия по разработанной нами методике проводилась в течение 8 дней 5 раз в неделю дважды в день с РОД 2,5 Гр, суточная доза составляла 5 Гр, перерыв между фракциями выдерживали не менее 6 часов, суммарная очаговая доза за курс лечения (16 фракций) составила 40 Гр. Во время всего курса лечения перед каждой второй фракцией ЛТ проводились сеансы низкоинтенсивной лазерной терапии с профилактической противопалатильной целью (8 сеансов).

При расчете по таблицам ВДФ суммарная очаговая доза составила 56 изоГр, при расчете по линейно-квадратичной модели – с $\alpha/\beta = 3$ Гр – 52 изоГр, с $\alpha/\beta = 3,4$ Гр – 50,8 изоГр.

Всем больным проводилась конформная 3D CRT. Для фиксации пациенток и для ежедневной точной воспроизводимости укладки применялся позиборд (рис. 4).

Ускоренное частичное облучение молочной железы проводилось с использованием 2–4 копланарных и некопланарных фотонных полей или комбинации 2 фотонных 6–18 МВ и 1 электронного (энергия 9,12 и 18 МэВ) полей (рис. 5).

Проведен анализ дозного распределения. Объем молочной железы, получившей 50 % дозы (V_{50}) колебался от 17 % до 60 %, медиана 38 %, объем молочной железы, получившей 100 % дозы (V_{100}) – от 9 % до 25 %, медиана 13 %, медиана $V_{ptv}/V_{мол.жел}$ – 20 % (5–37 %).

У всех больных были отмечены ранние лучевые повреждения кожи первой степени по классификации RTOG-EORTC [24]. При медиане наблюдения 30 мес локорегиональные рецидивы и отдаленные ме-



Рис. 6. Фотографии больной С. до начала курса ЛТ и через 1 год после нее

тастазы не выявлены ни у одной пациентки. Поздние лучевые повреждения кожи и мягких тканей не были отмечены ни у одной больной.

Косметический эффект оценивали у 40 больных по четырехступенчатой шкале системы Joint Center for Radiation Therapy (Boston) совместно хирургом и радиологом (с соответствующей записью в амбулаторной карте), фотографическим методом, также учитывалась самооценка самих пациенток (заполнение специально разработанных анкет).

Прекрасный, хороший, посредственный и плохой косметический результат получен у 12 (30 %), 14 (35 %), 2 (5 %) и 0 % больных, что можно назвать очень хорошим достижением.

На рис. 6 представлены фотографии больной С. до начала курса АРВІ и через 1 год после его завершения.

Заключение

Необходимо отметить, что облучение всей молочной железы на сегодняшний день остается «золотым» стандартом в лечении ранних форм рака молочной железы после органосберегающих операций. АРВІ является новой технологией, обеспечивающей более быстрое, удобное лечение после сберегательных операций у тщательно отобранной группы пациенток. В настоящее время в РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН совершенствуются технологии подведения дозы локально к ложу опухоли, продолжается накопление клинического материала, изучаются результаты лечения, оценивается косметический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2012 г. (заболеваемость и смертность). — М., 2014.

2. Clarke M. et al. Effects of radiotherapy and of differences in the extent of surgery for early breast cancer on local recurrence and 15-year survival: An overview of randomized trials. *Lancet*, 2005, **366**, P. 2087–106.
3. Fisher B., Anderson S., Bryant J. et al. Twenty-year follow-up of a randomized trial comparing total mastectomy, lumpectomy, and lumpectomy plus irradiation for the treatment of invasive breast cancer. // *N. Engl. J. Med.*, 2002, **347**, No. 16, P.1233–1241.
4. Formenti S.C., Arslan A.A., Pike M.C. Long-term outcomes of invasive ipsilateral breast tumor recurrences after lumpectomy in NSABP B-17 and B-24 randomized clinical trials for DCIS. // *J. Natl. Cancer Inst.*, 2011, **103**, No. 22, P. 1723–1738.
5. Bentzen S.M. et al. The UK Standardisation of Breast Radiotherapy (START) Trial A of radiotherapy hypofractionation for treatment of early breast cancer: A randomized trial. // *Lancet*, 2008, **371**, P. 331–341.
6. Bentzen S.M. et al. The UK Standardisation of Breast Radiotherapy (START) Trial B of radiotherapy hypofractionation for treatment of early breast cancer: a randomised trial. // *Lancet* 2008, **371**, P. 1098–1117.
7. Whelan T. et al. Long-term results of hypofractionated radiation therapy for breast cancer. // *N. Engl. J. Med.*, 2010, **362**, No. 6, P. 513–520
8. Athas W.F., Adams-Cameron M., Hunt W.C. et al. Travel distance to radiation therapy and receipt of radiotherapy following breast-conserving surgery. // *J. Natl. Cancer Inst.*, 2000, **92**, No. 3, P. 269–271.
9. Kong A.L., Yen T.W., Pezzin L.E. Socioeconomic and racial differences in treatment for breast cancer at a low-volume hospital. // *Ann. Surg. Oncol.*, 2011, **18**, No. 11, P. 3220–7.
10. Поддубная И.В., Комов Д.В., Колядина И.В. Локальные рецидивы рака молочной железы. — М.: Медиа Медика, 2010, С. 4–6, 23–25.

11. Polgár C., Major T., Fodor J. High-dose-rate brachytherapy alone versus whole breast radiotherapy with or without tumor bed boost after breast-conserving surgery: seven-year results of a comparative study. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2004, 60, No. 4, P. 1173–1181.
12. Zurrida S., Leonardi M.C., Del Castillo A., Lazzari R., Arnone P., Caldarella P. Accelerated partial breast irradiation in early breast cancer: focus on intraoperative treatment with electrons (ELIOT). // *Womens Health (Lond Engl)*, 2012, 8, No.1, P. 89–98.
13. Neumaier C., Grit W. TARGIT-E (elderly) – prospective phase II study of intraoperative radiotherapy (IORT) in elderly patients with small breast cancer. // *BMC Cancer*, 2012, 12, P. 171–185.
14. Smith B.D., Arthur D.W., Buchholz Th. Accelerated Partial Breast Irradiation Consensus Statement From the American Society for Radiation Oncology (ASTRO). // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2009, 74, No. 4, P. 987–1001.
15. Polgár C., Van Limbergen E., Pötter R. GEC-ESTRO breast cancer working group. Patient selection for accelerated partial-breast irradiation (APBI) after breast-conserving surgery: recommendations of the Groupe Européen de Curiethérapie-European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (GEC-ESTRO) breast cancer working group based on clinical evidence (2009). // *Radiother. Oncol.*, 2010, 94, No. 3, P. 264–273.
16. Kirby A.M., Coles C.E., Yarnold J.R. Target volume definition for external beam partial breast radiotherapy: clinical, pathological and technical studies informing current approaches. // *Radiother. Oncol.*, 2010, 94, No. 3, P. 255–263.
17. Stroom J., Shilief A., Alderliesten T. Using histopathology breast cancer data to reduce clinical target volume margins at radiotherapy. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2009, 74, No. 3, P. 898–905.
18. Bentzen S.M., Yarnold J. Reports of unexpected late side effects of accelerated partial breast irradiation--radiobiological considerations. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2010, 77, No. 4, P. 969–973.
19. Pinnarò P., Arcangeli S., Giordano C. Toxicity and cosmesis outcomes after single fraction partial breast irradiation in early stage breast cancer. // *Radiat. Oncol.*, 2011, 6, P. 155–164.
20. Leonardi M.C., Maisonneuve P., Mastropasqua I.M.G. How Do the ASTRO Consensus Statement Guidelines for the Application of Accelerated Partial Breast Irradiation Fit Intraoperative Radiotherapy? A Retrospective Analysis of Patients Treated at the European Institute of Oncology. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2012, 83, No. 3, P. 806–813.
21. Wobb J., Wilkinson J.B., Shah C. Impact of the number of cautionary and/or unsuitable risk factors on outcomes after accelerated partial breast irradiation. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2013, 87, No. 1, P. 134–8.
22. Jagsi R., Ben-David M.A., Moran J.M. Unacceptable cosmesis in a protocol investigating intensity-modulated radiotherapy with active breathing control for accelerated partial-breast irradiation. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2010, 76, No. 1, P. 71–78.
23. Edge S.B., Byrd D.R., Compton C.C. American Joint Committee on Cancer. AJCC Cancer staging manual. 7th ed. – N.-Y.: Springer-Verlag; 2010, 646 pp.
24. Cox J.D., Stetz J., Pajak T.F. Toxicity criteria of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC). // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1995, 31, No. 5, P. 1341–1346.

Поступила: 23.11.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

**РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ ГРИГОРЬЕВА Ю.Г.
И ГРИГОРЬЕВА О.А. «СОТОВАЯ СВЯЗЬ И ЗДОРОВЬЕ», 2013****Book review on “Cellular Telecommunications and Health”,
by Yu. G. Grigoriev and O.A. Grigoriev, 2013**

«Сотовая связь и здоровье» — за простотой формулировкой названия этой монографии скрывается чрезвычайно актуальная тема, касающаяся здоровья буквально каждого человека, и проблема, имеющая конкретное значение для медицины.

Научная проблематика монографии, безусловно, относит ее к приоритетным направлениям развития науки. Факт рассмотрения центральной нервной системы и головного мозга в качестве критического органа, облученного электромагнитным полем при использовании сотового телефона, заранее определяет научную сложность проблематики настоящей монографии. Раскрытие этой проблемы возможно лишь при междисциплинарном подходе, который, в свою очередь, использует фундаментальные и прикладные разделы биологии, медицины и физики. Эту проблему авторы решили, представив на современном уровне оценку опасности нового источника электромагнитного излучения в среде обитания всех групп населения, что нашло свое отражение в полном названии рецензируемой монографии «Сотовая связь и здоровье. Электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. Прогноз опасности».

К середине 1980-х гг., благодаря работе коллективов институтов Минздрава СССР, Минздрава УССР и Академии медицинских наук СССР, был разработан комплекс санитарно-эпидемиологических норм, позволяющих достаточно надежно обеспечивать здоровье населения и работников в условиях контакта практически со всеми возможными источниками ЭМП. В этих исследованиях важнейшую роль сыграли коллективы Киевского института коммунальной гигиены им. Марзеева и Института биофизики Минздрава СССР.

Однако в начале 1990-х гг. оставался еще ряд нерешенных вопросов. Был неясным вопрос о возможной кумуляции биоэффекта при повторных острых и хроническом облучениях ЭМП. Особое значение приобрела проблема изучения биологических эффектов

при воздействии модулированных ЭМП. Большую сложность вызывало прогнозирование реакции организма при воздействии сложноорганизованным ЭМП.

Вопрос о последствиях хронического неконтролируемого облучения мозга к тому времени даже не стоял в практической повестке дня, тем более не рассматривалось возможное облучение мозга детей.

Массовое внедрение подвижной сотовой радиосвязи началось около 20 лет назад и поставило перед учеными совершенно новые задачи, вызванные коренным изменением условий контакта населения с источниками ЭМП. Базовые станции сотовой связи фактически модифицировали существовавший к тому времени электромагнитный фон: увеличение его интенсивности, полностью был задействован диапазон частот от 400 до 3000 МГц. Были созданы условия для неизбежного накопления суммарной энергетической нагрузки всем населением. В то же время абонентские терминалы подвижной сотовой связи — сотовые телефоны — создали принципиально новые условия облучения, поскольку большая часть электромагнитной энергии поглощается тканями головного мозга. Фактически сотовый телефон — это открытый источник ЭМИ и при его использовании головной мозг оказывается непосредственно «под лучом».

Профессором Ю.Г. Григорьевым и его коллегами на уникальном оборудовании Института биофизики МЗ СССР была продемонстрирована непосредственная реакция мозга при использовании сотового телефона, возможность фиксации мозгом сигнала ЭМП, влияние на память в модельном эксперименте с импринтингом. Было показано, что воздействие ЭМП малой интенсивности со сложным сигналом можно может привести к развитию судорожного синдрома. Впервые удалось зафиксировать развитие компенсаторного процесса при продолжительном однократном облучении человека электромагнитным полем сотового телефона.



Григорьев Юрий Григорьевич

профессор, доктор медицинских наук, Лауреат Государственной премии СССР, ведущий научный сотрудник Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна, Академик Академии электротехнических наук РФ.

Профиль научных исследований: биологическое действие ионизирующей и неионизирующей радиации, оценка опасности действия физических факторов на население, включая детей и подростков; радиационная безопасность пилотируемых космических полетов; экстремальная физиология, нормирование физических факторов среды. Более 50 лет ведет работы, связанные с биологическим действием электромагнитного сверхвысокого излучения, с оценкой неблагоприятного влияния на население.

Председатель Российского национального Комитета по защите от неионизирующих излучений, постоянный член Консультативного Комитета ВОЗ по международной программе «Электромагнитные поля и здоровье населения», член правления Научного Совета по проблеме радиологии РАН, член Международной Комиссии по электромагнитной безопасности (ICEMS), член редколлегии журнала РАН «Радиационная биология. Радиозоология».

Автор 19 монографий и более 330 публикаций в научных отечественных и зарубежных журналах.



Григорьев Олег Александрович

кандидат биологических наук, заведующий отделом неионизирующих излучений Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна.

Профиль научных исследований: биологическое действие электромагнитного поля, био- и электромагнитная совместимость, изучение биологического действия физических факторов неионизирующей природы в экстремальных условиях, нормирование физических факторов окружающей среды.

Заместитель председателя Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений, постоянный член Консультативного комитета ВОЗ по международной программе «Электромагнитные поля и здоровье населения», доцент и руководитель курса «Гигиена неионизирующих излучений» кафедры медицины труда, гигиены и профпатологии Института профессионального послесреднего образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, член международного Биоэлектромагнитного общества (BEMS).

«Гигиена неионизирующих излучений» кафедры медицины труда, гигиены и профпатологии Института профессионального послесреднего образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, член международного Биоэлектромагнитного общества (BEMS).

Ю.Г. Григорьев
О.А. Григорьев

СОТОВАЯ СВЯЗЬ И ЗДОРОВЬЕ

Ю.Г. Григорьев, О.А. Григорьев

СОТОВАЯ СВЯЗЬ И ЗДОРОВЬЕ

Электромагнитная обстановка
Радиобиологические и гигиенические проблемы
Прогноз опасности



Открытым до сегодняшнего дня остается вопрос – при каких условиях биологическая реакция на воздействие ЭМП сотового телефона может вызвать развитие патологии. То, что патология возможна, в 2012 г. подтвердило Агентство по раку Всемирной организации здравоохранения (IARC), когда на основании результатов серии исследований классифицировало ЭМП сотового телефона как возможный канцероген и присвоило адекватный класс опасности.

Применительно к научной проблеме биоэффектов ЭМП, особенно учитывая массовый охват населения этим фактором, мы не должны забывать о совершенно специфическом мультипликативном эффекте, связанным с влиянием этого фактора на когнитивные функции детей и подростков. Авторы монографии совершенно справедливо выделяют детей в особую, наиболее уязвимую группу, опираясь на предыдущие исследования, используя литературные данные и материалы собственного многолетнего наблюдения группы детей-пользователей сотовыми телефонами. Авторы фактически подтверждают закономерность этого действия и выявляют общие за-

кономерности нарушения когнитивных функций у детей-пользователей сотовыми телефонами.

Роль иммунной системы, как одной из наиболее чувствительной к хроническому облучению ЭМП, была убедительно показана при разработке базовых нормативов ЭМП тридцать лет назад (Институт коммунальной гигиены им. Марзеева). Значение реакции иммунной системы на ЭМП настолько высоко, что по решению ВОЗ в 2006–2008 гг. был осуществлен совместный научно-исследовательский проект, который выполнялся силами ученых из французского Университета в Бордо и Института биофизики Минздрава РФ, при активном участии Центра электромагнитной безопасности и под наблюдением международной группы наблюдателей из Италии, Германии, Франции и США. Настоящая монография приводит основные результаты этого проекта, полностью подтверждающие значение и роль иммунной системы в реакции на ЭМП.

Положительная сторона книги – фундаментальная медико-биологическая основа, на которой базируется научный анализ проблемы, использование

качественных результатов, в том числе собственных экспериментов, в которых во главу угла была поставлена биологическая модель со строгой дозиметрией и соблюдением правил и условий облучения, необходимых при работе с источниками ЭМП.

Уникальным для нашей страны является изложение в монографии истории развития, теории и принципов гигиенического нормирования ЭМП, полный анализ зарубежных стандартов электромагнитной безопасности, их принципов и научных основ.

Данные о биоэффектах сотовой связи непрерывно накапливаются, но прикладная наука с трудом успевает за изменениями в технологиях, за двадцатилетний период происходит уже четвертая смена поколений техники. От простого амплитудно-модулированного сигнала связисты перешли к сложно организованному широкополосному импульсу. Поэтому крайне важным является использование фундаментальных знаний, основанных на опыте и традициях научной школы, созданной и сохраняемой авторами. Вместе с тем, тема «Сотовая связь и здоровье» настолько объемна, что, несмотря на значительный объем монографии, которая посвящена в основном проблеме влияния ЭМП сотового телефона на здоровья пользователя, здесь есть еще поле для многочисленных серьезных научных исследований, для работы коллективов ученых.

Подвижная радиосвязь стала неотъемлемым звеном нашей жизни. Население добровольно широко использует сотовую связь. Однако мы должны понимать, что все группы населения подвергаются прак-

тически постоянному значимому электромагнитному облучению. Впервые за всю цивилизацию ежедневно дробно облучается радиочастотным ЭМП головной мозг пользователей мобильных телефонов. Головной мозг стал критическим органом. Дети вошли в группу риска и по условиям электромагнитной нагрузки на организм могут быть приравнены к профессионалам.

Научных базовых данных для оценки электромагнитной безопасности сотовой связи недостаточно. Полностью отсутствуют данные о возможном развитии отдаленных последствий у детей после длительного облучения ЭМП развивающегося головного мозга.

Авторы книги имеют многолетний опыт работы в этой области, на протяжении ряда лет они являются членами Консультативного комитета ВОЗ по Международной программе «Электромагнитное поле и здоровье населения», возглавляют Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения.

В рецензируемой монографии представлен большой объем современной отечественной и зарубежной литературы, имеются ссылки на 893 цитируемых публикаций.

Рецензируемая монография заслуживает высокой оценки.

Академик РАМН Л.А. Ильин

Поступила: 23.10.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

ОТЗЫВ НА ОТЧЕТ МКРЗ ПО ТКАНЕВЫМ РЕАКЦИЯМ НА ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ (ПУБЛИКАЦИЯ 118 МКРЗ)

ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context (ICRP Publication 118)

Выпуск Публикации 118 МКРЗ в русскоязычном переводе представляется весьма ценным и своевременным. Для отечественных специалистов разного профиля это не только возможность ознакомиться с последними установками МКРЗ в области радиационной безопасности и притом по нестохастическим эффектам ионизирующего излучения, но и получить информацию о конкретных исследованиях зарубежных ученых, доступ к которым ограничен и лимитированным списком выписываемых журналов и закрытостью полного текста многих статей в Интернете.

Важное место в рассматриваемой публикации занимают данные, касающиеся неблагоприятных не только ранних, но и поздних последствий лучевой терапии онкологических заболеваний. Несмотря на заверения многих специалистов физического профиля о том, что они в состоянии снизить вредные эффекты лучевого воздействия на здоровые ткани соответствующими техническими приемами или подбором разных видов излучения, оказалось, что это не совсем так, и что желательны медикаментозные средства борьбы с указанными осложнениями. Особая ценность этого материала для отечественных специалистов заключается в том, что как раз в отечественной радиологии эти исследования развиты значительно в меньшей степени и данная публикация, возможно, изменит сложившуюся ситуацию в лучшую сторону.

Следует оговориться, что данный отзыв касается только реакций кроветворной и иммунной систем из всех приводимых клеточных реакций.

Цель рассматриваемого Отчета, как заявляют его составители, заключалась в том, чтобы на новом этапе исследований рассмотреть и критически оценить всю совокупность данных по биологическим эффектам ионизирующего излучения, именовавшимся ранее детерминированными, а теперь просто тканевыми реакциями. Можно отметить, что термин изменен в сторону большей нейтральности, но все равно ощущение условности остается, так как слово «реакция» ассоциируется с чем-то преходящим,

не оставляющим необратимых последствий. Таким образом, теперь сделан крен в противоположную сторону. Получается, что наиболее удачным было первоначальное подразделение на ранние и поздние эффекты, ибо оно подчеркивало самое главное в разграничении эффектов, а именно временной аспект. Кроме того, теперь напрашивается изменение и термина «стохастический» на, скажем по аналогии, клеточную реакцию.

Далее, название раздела 4 «Пороговые дозы чувствительности органов и тканей к радиации» (в оригинале Threshold doses in relation to radiosensitivity of organs and tissues) грешит неточностью перевода в том же направлении подмены понятия радиочувствительности (т.е. радиопоражаемости) понятием чувствительности к воздействию радиации (т.е. радиореактивности, реакции на облучение). К тому же, авторы Публикации со своей стороны запутывают изложение ключевого вопроса: во-первых, они необоснованно приравнивают пороговые дозы к рекомендуемым пределам доз, а во-вторых, почему-то связывают необходимость ревизии величины пороговых доз клеточных реакций с успехами терапии и менеджмента (параграф 664).

Знакомство с подразделом 4.2 «Кроветворная система» усиливает ощущение нечеткости, так как приводимые в нем пороговая доза острого излучения и пороговая мощность дозы хронического облучения основаны на не определенном однозначно критерии «угнетения гемопоэза». Не исключено, что при конкретизации этого критерия придется как раз столкнуться с необходимостью разграничения понятий, «радиореактивности» и «радиопоражаемости», особенно для условий локального фракционированного облучения пациентов, как, например, принято различать клинические признаки первичной реакции организма на облучение и проявления острой лучевой болезни. Мне в свое время пришлось ввести указанные понятия при анализе реакции стволового кроветвор-

ного пула мышей на малые дозы низкоэнергетического излучения (Радиобиология, 1999, № 1).

Самым важным в Отчете является, конечно, вопрос о ревизии допустимых уровней облучения. Новый, сниженный предел дозы введен только для воздействия на хрусталик глаза у профессионалов. В отношении допустимых уровней радиационного воздействия на систему кровообращения сделано лишь предостережение. Таким образом, МКРЗ проявляет, наконец, разумную сдержанность при ужесточении норм радиационного воздействия по эффектам тканевых реакций.

Ясно, что нормы допустимого радиационного воздействия в отношении тканевых реакций устанавливаются на основе величины порога, а пороговая доза может быть установлена только расчетным путем. Можно и нужно рассчитывать не только некую усредненную пороговую дозу, а и ее доверительный интервал, хоть с 99,9 % достоверностью, и брать за основу нижнюю границу этого интервала, но это должен быть расчет именно пороговой дозы.

На деле же с определением порога для тканевых реакций сложилась довольно странная ситуация. Казалось бы, именно в этой области исследований, в которой пороговость эффекта заявлена как отличительная черта тканевых реакций, должны быть разработаны пороговые модели расчета. Однако в разделе «Введение» акцент делается на линейно-квадратичной модели, которую к пороговым моделям никак не отнесешь. Выход из положения авторы отчета находят в том, что пороговая доза определяется «для практических целей как доза, вызывающая лишь 1 % частоты реакций в конкретной ткани или органе». И дальше следует трудно понимаемая фраза «Использование более низких уровней [чем, вероятно, 1 % — моя вставка] приведет к меньшим неопределенностям величин, что приемлемо в практическом плане для некоторых целей, но не для других». Это было бы еще дальше от «истинного» порога» (параграф 13). Как видим, линейная беспороговая концепция здесь незримо присутствует и определяет общий подход к радиобиологическим эффектам, даже и позиционируемым как пороговые. Комментарии, как говорится, излишни.

В то же время в литературе описаны пороговые модели даже для стохастических эффектов (Hoel D.G., Li P. Threshold models in radiation carcinogenesis, 1998; Little M.P., Muirhead C.R. Curvature in the cancer mortality dose response in Japanese atomic bomb survivors, 1998; Ulrich R.I., Storer J.B. Influence of γ irradiation on the development of neoplastic disease in mice, 1979). Использование же беспороговых моделей для описания заведомо пороговых эффектов всегда будет оставлять подозрение в занижении пороговой дозы.

Возникает еще вопрос, а зачем определять допустимые уровни облучения для тканевых реакций, ибо они будут перекрыты допустимыми уровнями для стохастических эффектов. Вероятно, это связано с тем, что есть ситуации, когда уровень облучения диктуется не соображениями безопасности, а необходимостью уничтожить опухоль. И в этих случаях лучше говорить не о допустимых уровнях облучения в отношении тканевых реакций, а о порогах, которые должны служить ориентирами в оценке достигнутой эффективности борьбы с осложнениями лучевой терапии опухолей.

Как уже говорилось выше, в Отчете много внимания уделено модификаторам реакций нормальных тканей. Начнем с классификации противолучевых средств.

На стр. 247 авторы пишут «Классификация протекторов, паллиативных и лечебных средств применительна не только к ситуации лечения рака, но также и к сценариям радиационных аварий и радиологического ядерного терроризма...». С приведенным заключением трудно согласиться. Классификация, используемая в отчете, имеет более частный характер. Она целиком вытекает из клинической практики борьбы с осложнениями лучевой терапии и мало учитывает значительно ранее сложившуюся систему взглядов в радиобиологии. Вместо используемого в радиобиологии обобщенного термина «противолучевые средства» авторы предлагают термин «модификаторы», очевидно требующий дополнения — тканевых реакций на облучение, что делает термин громоздким, а без этого дополнения немного жаргонным (о чем идет речь, понятно только специалистам в этой области). В радиобиологии иногда используется термин «радиомодификаторы» для обозначения группы противолучевых препаратов, вводимых за более длительный срок до облучения, чем радиопротекторы. Для радиосенсибилизаторов в Отчете использован не очень-то компактный термин «усилители нормальной реакции тканей». Далее, вряд ли можно рассчитывать на использование понятия «паллиативные средства» в радиобиологии. В целом же возникает вопрос, зачем строить собственную классификацию, если можно воспользоваться уже разработанной, конечно, с некоторой ее модификацией. Здесь же уместно отметить, по аналогии, что директивная рекомендация использовать ОБЭ-взвешенную поглощенную дозу, ОБЭД (Гр) вместо ед. «зиверт» тоже нельзя признать удачной из-за громоздкости предложенной единицы. Значит, надо вводить новый термин, отличный от зиверта.

По конкретному содержанию раздела 3 «Модификаторы...» можно сказать следующее. Он оставляет впечатление некоторой перегруженности

материалом. Конечно, собрано все, что только можно было собрать, и это дает богатый справочный материал. Но нет четкого разделения на реально доведенные до возможности практического применения препараты и чисто экспериментальные разработки, на действительно эффективные проверенные средства и только обозначившие свою эффективность.

Подраздел по механизмам действия оставляет впечатление эклектичности, вероятно, вынужденной, включенного материала, когда наряду с представлениями (пусть иногда и устаревшими) о механизмах ингибирования процесса развития радиационного поражения упоминаются фармакологические группы (ингибиторы АПФ, факторы роста) или реализуемые эффекты препаратов самого разного профиля (ингибиторы апоптоза, модификаторы реакции эндотелиальных клеток). Вряд ли адекватно ассоциирование тиоловых протекторов с акцепторами/перехватчиками свободных радикалов, именно в смысле непосредственного участия самих вводимых препаратов (это механическое перенесение результатов опытов *in vitro* на условия организма без учета возможности создания аналогичных концентраций). По-прежнему нет четкого критерия отнесения противолучевого препарата к антиоксидантам, в конце концов, многие радиозащитные средства противоборствуют развитию окислительных процессов в облученной клетке. Стоило ли выделять отдельно ингибиторы апоптоза, если к этой группе причислены самые разнообразные препараты, включая антиоксиданты и акцепторы радикалов? Не приведено четкого разграничения между факторами роста и цитокинами.

Достойно сожаления, что мимо внимания составителей этого отчета прошло создание в России многоцелевого противолучевого препарата — рекомбинантного человеческого интерлейкина-1 β , получившего наименование беталейкина. Конечно, честь открытия этого цитокина и всестороннего его исследования принадлежит зарубежным исследователям,

но именно в России удалось довести этот цитокин до официально узаконенной лекарственной формы и обосновать его исключительную роль в качестве средства экстренной терапии острых лучевых поражений. Понятно, что отсутствие даже упоминания о беталейкине в данном Отчете можно объяснить слабой вовлеченностью русскоязычной литературы в мировой информационный поток, но не до такой же степени. Ведь попали же на страницы Отчета некоторые публикации отечественных авторов в русскоязычном журнале «Радиационная биология. Радиоэкология», касавшиеся менее значимых исследований.

На стр. 258 авторы Отчета сетуют на то, что «инструктивного документа, касающегося использования цитокинов для лечения иммуносупрессии, индуцированной радио- и химиотерапией, <...> до сих пор не появилось». А в Санкт-Петербурге в 2008 г. выпущено руководство «Беталейкин (рекомбинантный интерлейкин-1 β) — эффективный стимулятор и протектор лейкопоза в условиях комбинированной терапии злокачественных опухолей. Пособие для врачей». М.Л. Гершанович, Л.В. Филатова. ФГУ «НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова». — С.-Петербург: Новая Альтернативная Полиграфия, 2008.

Отчет, к сожалению, имеет недостатки в форме представления материала. Ряд из них связан с переводом, выполненным, по-видимому, специалистом, слабо знакомым с радиационной тематикой вообще и терминологией в частности. Складывается впечатление, что русскоязычному изданию очень не помешал бы научный редактор.

Несмотря на сделанные выше замечания, издание Отчета МКРЗ на русском языке следует оценить как весомый вклад в развитие радиологических и радиобиологических исследований в России.

Док. биол. наук Л.М. Рождественский

Поступила: 02.07.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

КРУГЛЫЙ СТОЛ СОЮЗА ЖЕНЩИН РОССИИ «РОЛЬ ЖЕНЩИНЫ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЗИТИВНОГО ОТНОШЕНИЯ К ЯДЕРНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ В РОССИИ»

Round Table of the Russian Women Union: “The Role of Women in Shaping Positive Attitudes to Nuclear Technology in Russia”

В течение 10 лет активно работает Союз женщин России (СЖР), объединяющий общественные организации всех регионов страны. В его рамках проводятся семинары, объединяющие как все регионы в целом, так и отдельные их группы по вопросам участия женщин в наиболее актуальных вопросах вос-

приятия населением существующих сложных технологий и оптимизации этого восприятия.

В рамках одного из таких семинаров и был проведен 24 октября указанный выше круглый стол «Роль женщин в формировании позитивного отношения к ядерным технологиям в России», на котором были заслушаны 11 докладов.

Темы докладов

- | | |
|---|--|
| 1. Лахова Екатерина Филипповна — председатель СЖР, Депутат Государственной Думы | Вступительное слово |
| 2. Кушнарев Сергей Викторович — исполнительный вице-президент Ядерного общества России | Приветственное слово |
| 3. Гуськова Ангелина Константиновна — врач-радиолог, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент Академии медицинских наук СССР, главный научный сотрудник Федерального Медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна, заслуженный деятель науки РСФСР | Особенности реакции организма женщин на воздействие ионизирующего излучения и их роль в адекватном поведении в этой ситуации |
| 4. Лебедева Ольга Михайловна — ведущий инженер службы радиационной безопасности ФГУП «РАДОН» | Обеспечение радиационной и экологической безопасности при обращении с РАО в ФГУП «РАДОН» |
| 5. Никонорова Екатерина Васильевна — завкафедрой управления природопользованием и охраны окружающей среды Международного института государственной службы и управления РАНХ и ГС при Президенте РФ, начальник управления специальных проектов Российской государственной библиотеки, доктор философских наук, профессор | Экологические риски ядерных технологий и информационное обеспечение их восприятия |
| 6. Денисенко Валентина Митрофановна — врач-офтальмолог, председатель Десногорской женской секции, член Ядерного общества России | Экологические и медицинские аспекты атомной энергетики |
| 7. Кудряшова Инна Леонидовна — заместитель начальника центра общественной информации Нововоронежской АЭС, член президиума женсовета Нововоронежа, председатель общественной палаты Нововоронежа | Роль общественных организаций г.Нововоронеж в популяризации атомной энергии |
| 8. Гусева Ирина Васильевна — генеральный директор образовательной организации дополнительного профессионального образования «Дом знаний», заместитель председателя Курской областной организации Союза женщин России, кандидат политических наук | Психологические аспекты развития атомной энергетики |
| 9. Вишнева Виктория Олеговна — помощник заведующего кафедрой, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (Московский инженерно-физический институт), член Ядерного общества России | АЭС — источник энергии, а не опасности |
| 10. Попова Татьяна Викторовна — председатель общественной организации «Женщины в поддержку экологических программ» («Экофарм») | Роль женщины в формировании экологической культуры общества |
| 11. Парабина Мария Викторовна — инженер-конструктор ОАО «НИКИ-ЭТ», председатель женской секции Ядерного общества России | Женское мнение о безопасности технологий энергетики |

Обращает на себя внимание прогрессивная идеология всех сообщений и высокая культура презентации материалов.

Настоящий круглый стол был сосредоточен на проблеме формирования адекватного восприятия обществом широкого внедрения в жизнь страны атомной энергетики. В связи с темой было получено приглашение для участия в заседании Российского ядерного общества (председатель С.В. Кушнарев) и профессора А.К. Гуськовой из ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в качестве представителя ФМБА России.

Особого внимания заслуживают выступления сотрудников, посвященные социально-экологической и социально-психологической ситуации в городах, где градообразующими предприятиями являются АЭС (Нововоронеж и Десногорск, в которых расположены Воронежская и Смоленская АЭС).

Тщательное изучение ситуации в течение 30–50 лет убедительно демонстрирует положительное влияние тесного контакта и взаимодействия населения городов с руководством и предприятиями атомной энергетики. Города эти выделяются по значительному жизненному комфорту, высокому уровню образовательных программ, обеспечению необходимого контроля за состоянием здоровья, привлечением к их

опыту населения городов и регионов, которые должны быть вовлечены в контакт с вновь строящимися АЭС.

Изучена мотивация формирования настроенности населения, возможность благодаря этому увеличить трудовые ресурсы отрасли и обеспечить адекватное формирование проживания на подобных территориях, а также опыта работы персонала на них.

Сочтено целесообразным с этими двумя наиболее крупными обобщениями ознакомить широкую аудиторию страны, предоставив им соответствующее место в прямом эфире телерадиовещания.

Представляется целесообразным более активное участие сотрудников ФМБА в подобных семинарах, которые планирует на ближайшее время Союз женщин России.

Отмечается и эффективное сотрудничество СЖР с аналогичными зарубежными организациями.

Член-корр. РАМН, профессор А.К. Гуськова

Поступила 28.10.2013

Принята к публикации: 04.12.2013

V НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ»

The Fifth Scientific-practical Conference “Current Approaches for Provision of Radiation Safety”

В период с 3 по 5 декабря 2013 г. в Санкт-Петербурге состоялась V научно-практическая конференция «Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности на современном этапе».

Конференция была организована ФМБА России при поддержке Управления по работе с регионами Госкорпорации «Росатом», Общественного совета Госкорпорации «Росатом», Департамента информации и общественных связей ОАО Концерн «Росэнергоатом» и Санкт-Петербургского филиала НОУ ДПО «ЦИПК Росатома».

В работе конференции приняли участие более 100 руководителей и специалистов надзорных органов и организаций ФМБА России, специалистов Роспотребнадзора, Концерна «Росэнергоатом» и Госкорпорации «Росатом».

На конференции были рассмотрены как научные аспекты в области радиационной гигиены, так и практические вопросы обеспечения радиационной безопасности в организациях, эксплуатирующих особо радиационно-опасные и ядерно-опасные производства и объекты, вопросы радиационной защиты персонала и населения, проживающего в зоне наблюдения. Вниманию аудитории были представлены результаты работы 60-ой сессии НКДАР ООН, материалы по гармонизации российских норм радиационной безопасности и оценки доз внутреннего облучения, по нормированию выбросов радионуклидов с АЭС, регулированию обращения с радиоактивными отходами и по методическому обеспечению практических оценок радиогенного риска.

В рамках конференции состоялся круглый стол по теме: «Состояние радиационной обстановки в районах размещения АЭС и предприятий атомной промышленности. Здоровье персонала и населения атомградов», на котором территориальными органами ФМБА России были представлены результаты радиационно-гигиенической паспортизации объектов и территорий, аналитические материалы по оценке состояния здоровья персонала и населения, а также по анализу медико-демографических показателей. Докладчиками было отмечено отсутствие связи показателей и динамики заболеваемости населения

прилегающих территорий с воздействием ионизирующего излучения, обусловленного эксплуатацией атомных установок и производств.

По итогам конференции ФМБА России подготовлены предложения по совершенствованию деятельности надзорных органов ФМБА России при осуществлении государственных функций в области обеспечения радиационной безопасности персонала обслуживаемых организаций и населения обслуживаемых территорий, касающиеся методического и приборного обеспечения деятельности Госсанэпиднадзора.

Оргкомитет конференции отметил высокий уровень представления материалов подведомственными органами и организациями и выразил благодарность всем руководителям и специалистам, принявшим участие в работе конференции, выступившим с докладами и активно участвовавшим в обсуждениях и дискуссиях.

Особую благодарность ФМБА России выражает гостям конференции из Роспотребнадзора, Концерна «Росэнергоатом», ОАО «ВНИИАЭС» и Госкорпорации «Росатом», представившим современные научные и практические материалы по радиационной безопасности, которые представляют интерес для практикующих специалистов и, несомненно, найдут применение в их повседневной деятельности.

Н.П. Пацяпун, ФМБА России



К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.Л. ИВАСЕНКО

Виктор Лукич ИВАСЕНКО родился 1 октября 1928 г. в селе Ваганово Октябрьского района Челябинской области. В 1945 г. после окончания 9 классов средней школы поступил в медицинское училище Троицка Челябинской области, после окончания которого направлен в город Ныроб Пермской области фельдшером в систему МВД.

В 1950 г. призван в учебный отряд подводного плавания ВМФ СССР (Владивосток), откуда приказом министра обороны направлен в госпиталь № 139 города Порт-Артур. После специализации в госпитале служил фельдшером поста медицинской помощи бригады торпедных катеров (бухта Разбойник залива Петра Великого).

Несмотря на выслуженный срок и огромное стремление учиться в медицинском ВУЗе, распоряжением правительства медицинские специалисты среднего звена демобилизации не подлежали. Однако благодаря неоднократным ходатайствам Героя Советского Союза комбрига А.Г. Канонадзе,

симпатизировавшего желанию молодого человека учиться, в 1958 г. матроса В.Л. Ивасенко демобилизовали. Он вернулся в Челябинск и поступил на первый курс Челябинского медицинского института, который и закончил в июне 1964 г. по специальности «Лечебное дело».

Распределением его направили для работы в санитарно-эпидемиологическую службу Челябинска на должность врача-радиолога, и Виктор Лукич принял активное участие в создании сначала группы, а затем и отдела радиационной гигиены при городском Центре Госсанэпиднадзора.

Виктор Лукич неоднократно проходил курсы повышения квалификации в ведущих центрах радиационной гигиены Москвы и Киева, но его особенную гордость составляет специализация в Ленинградском институте радиационной гигиены у профессора П.В. Рамзаева, именем которого и назван теперь ЛИРГ.

Одновременно с работой в ГорСЭС с января 1969 г. Виктор Лукич начал работать по совместительству в должности врача-радиолога Челябинского областного онкологического диспансера, организовав и возглавив службу радиационной безопасности и дозиметрии.

С 2005 г. В.Л. Ивасенко постоянно работает в ЧОКОД в должности врача-радиолога. Виктор Лукич достойно носит звания «Ветеран Великой отечественной войны» (ст. 20 «Труженик тыла»), «Отличник здравоохранения», «Ветеран труда».

Ему присвоена Высшая категория врача-радиолога.

Виктор Лукич Ивасенко награжден медалью «Труженику тыла в годы Великой Отечественной

Войны» и юбилейными медалями, в том числе медалью «90 лет Госсанэпидслужбе России».

В настоящее время Виктор Лукич Ивасенко продолжает активно трудиться, передавая коллегам свой богатый опыт.

В день славного юбилея желаем Виктору Лукичу здоровья и профессионального долголетия.

*Челябинский областной клинический
онкологический диспансер,
Южно-Уральский государственный медицинский
университет (ЮУГМУ),
Ассоциация врачей-радиологов России,
Редакционная коллегия журнала «Медицинская
радиология и радиационная безопасность»*

ПАМЯТИ В.М. ПЕТРОВА



Коллектив сотрудников Института медико-биологических проблем РАН понес невосполнимую утрату — на 76 году жизни скончался Владислав Михайлович Петров, заведующий отделом 10, начальник службы радиационной безопасности пилотируемых космических полетов.

За долгие годы работы в Институте (с 1964 г.) Владислав Михайлович прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом. За этот период им выполнен большой объем научных и научно-организационных работ.

Под его непосредственным руководством создан новый комплекс штатной аппаратуры радиационного контроля и разработаны научно-методические основы обеспечения радиационной безопасности текущих и перспективных пилотируемых космических полетов.

За свою научную и производственную деятельность В.М. Петров неоднократно отмечался благодарностями по Институту, третьему Главному управ-

лению и Минздраву СССР. Награжден орденом «Знак почета», медалью «Ветеран труда», медалью «850-летия г. Москвы», юбилейной медалью имени Ю.А. Гагарина, медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II ст., почетной медалью имени космонавта №1 Ю.А. Гагарина, удостоен звания Лауреата Государственной премии СССР.

Ушел из жизни большой ученый, истинный патриот российской науки, до последнего дня остававшийся в строю. Остались нереализованными планы работ по полетам человека вне магнитосферы Земли, к Луне и Марсу...

Светлая память о Владиславе Михайловиче Петрове — ученом и человеке — навсегда останется с нами.

*Сотрудники ГНЦ РФ Института
медико-биологических проблем РАН,
Редакционная коллегия журнала «Медицинская
радиология и радиационная безопасность»*

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ
В ЖУРНАЛЕ «МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ
И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»***

1. Для опубликования принимаются статьи по всем разделам медицинской радиологии и радиационной безопасности. Статьи могут быть экспериментальными или клиническими, теоретическими или концептуальными, обзорными по материалам литературы, дискуссионного, исторического или хроникального характера, информацией о проблемах медицинской радиологии и радиационной безопасности, а также в виде рецензий, хроники и т. п.

2. Редакция использует электронный документооборот. Наряду с присылкой статей по обычной почте в виде бумажного варианта + электронного текста на дискетах/компакт дисках, их можно присылать по электронной почте: medradiol@fromru.com. Однако если в статье имеются цветные иллюстрации, то желательно их представить в цвете в бумажном варианте, т.к. это облегчит работу рецензента и редактора.

3. Рекомендуются использовать редактор *Word for Windows*; шрифт *Times New Roman* 12 обычный; интервал полутонный. Абзацный отступ 0,6 см устанавливается командами компьютера: «Формат — Абзац — Абзацный отступ». Выравнивание производится по левому краю, без переносов слов; поля документа 2 см. Точка после заголовков, включая фамилии авторов, а также отдельно стоящих предложений (заголовки таблиц, рисунков, надписи на рисунках и т.д.) не ставится.

4. Первая страница (не нумеруется) начинается с **инициалов и фамилии авторов** (именно в таком порядке, в конце точка не ставится, шрифт жирный). Если соавторы относятся к различным учреждениям, то необходимо в конце фамилии каждого соавтора указывать ссылку ^{1, 2} и т.д., которая воспроизводится перед названием соответствующих учреждений.

Через одну строку прописными буквами следует **НАЗВАНИЕ СТАТЬИ**. Затем через одну строку на английском языке — **инициалы авторов и фамилии** и еще через строку — **название статьи строчными буквами**; все слова в английском названии, кроме предлогов, связок и артиклей, начинаются с прописных

букв. Далее через три строки — ключевые слова, сначала на русском, затем — на английском языке:

Ключевые слова: [сами слова светлым курсивом].

Пустая строка

Key words: [сами слова светлым курсивом]

Внизу страницы приводится наименование учреждения/учреждений (обязательно для всех работающих) и адрес электронной почты ответственного автора.

Обращаем внимание на необходимость указывать фамилии всех соавторов и их инициалы, а также наименование учреждения на английском языке. Фамилии и имена (для нас важны инициалы) на английском языке могут быть написаны несколькими способами, но редакция хотела бы отразить Ваше предпочтение. Наименование учреждения на английском языке должно соответствовать официальному наименованию, указанному в Уставе. Сама редакция не может сделать адекватный перевод наименования, например, из-за того, что различные учреждения, которые по-русски называются «Научный центр», в одних случаях называют по-английски как *Scientific Center*, в других — как *Research Center*; в названиях используется как американское написание *Centre*, так и английское — *Center*.

Внизу страницы приводятся данные для связи с автором/авторами при решении редакционных вопросов: фамилия, имя и отчество ответственного автора/авторов, почтовый адрес с индексом, номера телефонов и обязательно адрес/адреса электронной почты. **Эта информация предназначена только для редакции.**

5. На второй странице (уже пронумерованной) располагается реферат на русском языке.

РЕФЕРАТ

Цель:

Материал и методы:

Результаты:

Выводы:

Названия разделов реферата подчеркиваются, после двоеточия текст начинается с Прописной буквы. Реферат, кроме изложения сути работы, должен со-

* Правила представлены также на сайте http://www.fmbcfmba.org/RadioJournal/prav_ofo.pdf

держат основную числовую информацию и **иметь объем не более одной страницы текста** через полтора интервала. При превышении этого объема реферат будет направляться на переделку.

6. На третьей странице располагается реферат на английском языке, причем буквального соответствия английского и русского рефератов не требуется.

ABSTRACT

Purpose:

Material and methods:

Results:

Conclusion:

7. Текст статьи начинается на четвертой странице. Статьи экспериментального, клинического или теоретического плана, как правило, не должны превышать в целом 15 страниц, обзоры — в целом 25 страниц. Статьи экспериментального или клинического характера имеют следующие разделы (точки после названий разделов отсутствуют, выравнивание по левому краю, **шрифт полужирный**, размер 12):

Введение

Материал и методы

Результаты и обсуждение

Выводы (по пунктам 1, 2, 3 ...)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (прописные буквы, шрифт обычный).

Статьи теоретического и концептуального характера обычно не имеют раздела **Материал и методы**.

Обзоры литературы имеют: **Введение**, **Разделы** по отдельным обсуждаемым вопросам и **Выводы**. Вместо реферата приводится **СОДЕРЖАНИЕ (CONTENTS)** со списком этих разделов. Количество литературных ссылок в оригинальных статьях не должно превышать 10–15, в обзорах — 50–60.

Следует различать длинное тире «—», тире «-» и дефис «-» (в составных словах). Длинное тире — это то, что авторы используют как тире, короткое тире ставится только между числами, например, 3–4 мес, дефис используется в составных словах. Для ввода длинного тире используйте сочетание клавиш Ctrl+Alt + тире вверху справа на правой (цифровой) клавиатуре, для ввода тире — сочетание клавиш Ctrl + тире вверху справа на правой (цифровой) клавиатуре, для ввода дефиса (-) — знак на основной или на правой цифровой клавиатуре.

8. Слово Таблица, например, таблица 1, располагают над таблицей у левого поля светлым курсивом. Строкой ниже следует тематическое название таблицы жирным шрифтом (строчные буквы) с выравниванием по центру, заливка полей таблицы не производится. При отсутствии данных в какой-либо ячейке (ячейках) таблицы ставится прочерк в виде тире «—», а не «-». Расшифровка входящих в таблицу символов и (или) сокращений приводится в **Примечании**:

(Слово Примечание с прописной буквы, шрифт полужирный), которое располагают под левым нижним углом таблицы. Текст самого примечания — светлый, без подчеркивания. Все формулы должны быть набраны в математическом редакторе Word MS Equation. Номера формул пишут прямым шрифтом у правого поля рукописи и заключаются в круглые скобки. Каждую таблицу и каждый рисунок приводят на отдельной странице.

9. Графики и диаграммы принимаются к печати в MS Excel или как диаграммы Word. Редакция постарается воспроизводить в журнале цветные графики и иллюстрации. Во всех случаях диаграммы и графики следует размещать на белом поле.

Цветные рисунки, фотографии с высоким разрешением в форматах tiff/jpeg/png/gif должны быть приложены отдельными файлами, а не только вставлены в документ Word. Обозначьте для верстальщика верх и низ фотографии, если это может представлять трудности при верстке. Рекомендуется не перегружать рисунки надписями в поле самого рисунка: предпочтительно различные элементы изображения пронумеровать, а расшифровку каждого номера привести в подписи под рисунком. Фрагменты рисунка должны помечаться строчными буквами кириллицы: а, б, в, г. Номера и подписи ко всем рисункам обязательно повторяются на отдельной странице. Все подписи на рисунках, графиках и диаграммах, в том числе и надписи на осях координат, должны быть выполнены на русском языке. На рисунки и таблицы в тексте ссылаются так: рис. 4 или табл. 2.

10. **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** размещается после текста статьи и формируется в виде библиографических ссылок **в порядке их упоминания** в тексте, безотносительно того, на каком языке они написаны. При наличии четырех авторов упоминайте всех, а при большем числе — только первых трех и далее пишете: *и соавт.* или *et al.* Затем следуют название работы и библиографические данные. Названию периодического издания (журнала) или сборника предшествует символ // (две наклонные). Журналы называются в принятых сокращениях, а монографии и сборники цитируются полностью. После названия журнала указывают год, **том** (полужирным прямым, буквы Т. или Vol. не пишутся), номер журнала (не в скобках), начальная и конечная страницы цитируемой статьи, разделенные тире без пробелов. За названием монографии, отдельного отчета, диссертаций и т.п. указывают место издания, издательство или организацию, год выпуска. После названия сборника курсивом пишут инициалы и фамилию редактора или составителя.

Просьба внимательно следить за правильной постановкой специфических знаков (точка, тире,

двоеточие, запятая, две косые черты, пробелы и др.), кратким обозначением страницы: с. — при указании общего объема публикации, С. — при указании конкретных страниц документа в публикации; обозначения Вып., знак № (для работ на русском языке), No. (для работ на иностранных языках, так как латинская раскладка клавиатуры не имеет знака №), С. и с. пишутся отдельно от числа. Следуйте примерам:

Иванов И.А., Петров П.А., Никитенко Н.А. и соавт. Лучевая терапия рака пищевода. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 1996, **41**, № 6, С. 14–17.

Иванов И.А., Петров П.А., Никитенко Н.А., Коломийцев Н.П. Стресс при подготовке статей. — СПб.: Медицина, 2000, 820 с.

Лягинская А.М., Романова Л.К., Покровская М.С. Опасности облучения плода. // В сб. «Репродуктивное здоровье женщины и потомство в регионах с радиоактивным загрязнением». Под. ред. *М.Я. Федорова, В.И. Краснопольского*. — М.: Медицина, 1997, С. 246–260.

Караваяев П.И. Топометрическая подготовка онкологических больных к конформному облучению. — М.: Автореф. дисс. докт. мед. наук, 2007, 32 с.

Akiyama M. Role of somatic mutations for risk evaluation. // In: Proc. of Fukui Workshop on Health Risks: Perspectives. Ed. by *T. Sugahara, K. Torizuka, S. Kobayashi, Y. Ishii*. — Kyoto: Health Research Foundation, 1992, P. 172–175.

Author A.A., Author B.B., Author C.C. et al. Radiation and health. // Lancet, 1999, **109**, Suppl. 3, No. 5, P. 2–5.

Otake M., Schull W. Radiation-related small head sizes among prenatally exposed atomic bomb survivors. TR 6–92. — Hiroshima: RERF, 1992, 87 pp.

World Health Organization. Environmental Health Criteria *2.5, Selected Radionuclides. — Geneva: WHO, 1983, 234 pp.

При ссылке на наш журнал требуется указывать его том. Напоминаем тома по годам: 1980 — **25**; 1981 — **26**; ... 2008 — **53**; 2009 — **54**; 2010 — **55**; 2011 — **56**; 2012 — **57**; 2013 — **58**; 2014 — **59**.

Для отправки материала в редакцию по электронной почте рекомендуется создать отдельную папку, в которой находятся файл статьи (формат doc) и файлы рисунков (форматы gif/tiff/png/jpeg). Перед отправлением по электронной почте папку нужно сжать архиватором zip. Высылать сразу всю архивированную папку.

11. Принятые в журнале сокращения и символы соответствуют существующим стандартам. Допускаются и другие сокращения. **Обращаем внимание на отсутствие точек после большинства сокращений.**

Общие сокращения: год — г., годы — гг.; тысяча — тыс.; абсолютная единица — абс. ед.; другие — др.; единицы — ед.; область — обл.; сборник — сб.; книга — кн.; смотри — см.; то есть — т.е.; так как — т.к.; и так

далее — и т.д.; тому подобное — т.п.; часть — ч.; экземпляр — экз.; объемные проценты — об. %;

но месяц — мес; неделя — нед; сутки — сут; час — ч; минута — мин; секунда — с; килограмм — кг; грамм — г; миллиграмм — мг; микрограмм — мкг; литр — л; миллилитр — мл; микролитр — мкл; километр — км; метр — м; сантиметр — см; миллиметр — мм; микрометр — мкм; нанометр — нм; миллиард — млрд; миллион — млн; молярность раствора (при цифре) — М, mM; район — р-н; температура — 42 °С или 315 К (раздельно от числа, как и обозначение процентов %); паскаль — Па; килоом — кОм; вольт — В; киловольт — кВ; ампер — А; миллиампер — mA; дроби типа нмоль/л, мг/кг, МБк/км² даются с использованием косой черты.

Радиационная физика: беккерель — Бк; мегабеккерель — МБк; килогеккерель — кБк; грей — Гр; использование внесистемных единиц активности кюри (Ки), милликюри (мКи), микрокюри (мкКи), а также системной единицы поглощенной дозы сГр не рекомендуется; зиверт — Зв; миллизиверт — мЗв; тесла — Тл; электронвольт — эВ; килоэлектронвольт — кэВ; мегаэлектронвольт — МэВ; символы радионуклидов пишутся как ¹³⁷Cs, ^{99m}Tc (m — латинское!) или цезий-137, технеций-99m, но не Cs¹³⁷, Tc^{99m}; гамма-излучение, бета-частицы, альфа-частицы; допускается написание с использованием греческого алфавита — γ-облучение, β-излучение, α-частицы; напряжение на рентгеновской трубке в пиковых киловольтах — кВп; слой половинного ослабления — СПО; тормозное излучение 6 МВ, но тормозное излучение с максимальной энергией 6 МэВ; фотоэлектронный умножитель — ФЭУ; полупроводниковый детектор — ППД; термолюминесцентный детектор (дозиметр) — ТЛД; ИК — инфракрасный; УФ — ультрафиолетовый; ВЧ — высокочастотный; СВЧ — сверхвысокочастотный; атомная электростанция — АЭС.

Лучевая диагностика: УЗИ — ультразвуковое исследование; МРТ — магнитно-резонансная томография; МРС — магнитно-резонансная спектроскопия; ЭПР — электронный парамагнитный резонанс; КТ (РКТ) — компьютерная томография (рентгеновская компьютерная томография); цифровая субтракционная (разностная) ангиография — ЦСА; усилитель рентгеновского изображения — УРИ; приборы с зарядовой связью — ПЗС (например, цифровой детектор рентгеновского излучения на основе ПЗС-матрицы); металл-оксид-полупроводник — МОП (например, МОП-конденсатор); электронно-оптический преобразователь — ЭОП; экспозиция измеряется в единицах мАс; система архивирования и передачи изображений — САПИ (в английской транскрипции — PACS).

Ядерная медицина: однофотонная эмиссионная компьютерная томография — ОФЭКТ; ком-

бинированный ОФЭКТ/КТ-сканер; позитронная эмиссионная томография — ПЭТ; радиоиммунологический анализ — РИА; гамма-камера, гамма-томограф; радионуклидная диагностика — РНД; кривая «время—активность»; радионуклидная терапия — РНТ; радиофармпрепарат — РФП; функция передачи модуляции — ФПМ; пространственное разрешение измеряется в единицах мм FWHM (полная ширина на половине высоты пика функции чувствительности точечного источника излучения); фтордезоксиглюкоза — ФДГ.

Радиобиология: относительная биологическая эффективность — ОБЭ; линейная передача энергии — ЛПЭ; кумулятивный радиационный эффект — КРЭ; коэффициент кислородного усиления — ККУ; ФУД — фактор усиления дозы; дезоксирибонуклеиновая кислота — ДНК; рибонуклеиновая кислота — РНК; линейно-квадратичная модель — ЛКМ; летальная доза — ЛД; острая лучевая болезнь — ОЛБ; хроническая лучевая болезнь — ХЛБ; зависимость «доза—эффект».

Лучевая терапия: лучевая терапия — ЛТ; интраоперационная лучевая терапия — ИОЛТ; лучевая терапия с модуляцией интенсивности пучка излучения и лучевая терапия с управлением по изображениям — вместо русских аббревиатур повсеместно используются английские аббревиатуры IMRT и IGRT соответственно; суммарная очаговая доза — СОД; разовая очаговая доза — РОД; расстояние источник — поверхность — РИП; многолепестковый коллиматор — МЛК; фактор время — доза — фракция — ВДФ; гистограмма «доза — объем» — ГДО. Не рекомендуется использовать единицы сантигрей (сГр) и сантизиверт (сЗв), вместо них следует использовать либо Гр и Зв, либо мГр и мЗв.

Радиационная безопасность: радиационная безопасность — РБ; радиоактивные отходы — РАО; минимально значимая активность (на рабочем месте) — МЗА; радиационная авария — РА; нормы радиационной безопасности — НРБ; санитарные правила и нормы — СанПиН; источник ионизирующего излучения — ИИИ.

Общая медицина: центральная нервная система — ЦНС; артериальное давление — АД; ишемическая болезнь сердца — ИБС; объем циркулирующей крови — ОЦК; скорость оседания эритроцитов — СОЭ; электрокардиограмма — ЭКГ.

Следует избегать нестандартных сокращений, которые авторы считают общепринятыми, но на самом деле неизвестны большинству читателей журнала. Сокращение следует вводить в скобках только

после первого упоминания полной формы данного термина в реферате и (или) в основном тексте статьи. Употребление любых, даже общепринятых, сокращений в названии статьи недопустимо.

Общее количество сокращений в статье не должно быть более 5.

12. Оставляйте только значащие цифры. Например, если ожидаемое число случаев болезни 7,2, а наблюдали всего 11 случаев, то их отношение выражается как 1,53 или даже 1,5, но не 1,5277. У среднеквадратического отклонения или ошибки среднего не должно быть больше знаков после запятой, чем у среднего. При статистической обработке поясняйте, идет ли речь о среднеквадратическом отклонении или о стандартной погрешности (ошибке) среднего. Указывайте название статистического критерия при суждении о достоверности.

Несколько напоминаний: 3, 5, 7 и 8-я позиции; 5-й, 5-е, 5-го и 5-му; 5-литровый, 20 %-ный, не рекомендуется писать: у 25-и больных, в 35-и случаях и т.п. МечеНый препарат, но мечеННый техницем-99m (например) препарат.

«Одиночные» числа в пределах 10 в тексте рекомендуется писать словами, а не цифрами. Десятичные дроби в реферате и в основном тексте статьи (в том числе в таблицах и на рисунках) пишутся только через запятую, но в реферате на английском языке (Abstract) — только через точку.

13. Стиль изложения материала в статье должен отвечать общепринятым нормам русского литературного языка. Перед отправкой статьи в редакцию тщательно прочтите весь текст и исправьте все выявленные ошибки. Особенно следите за правильностью использования знаков препинания.

Журнал «Медицинская радиология и радиационная безопасность», издаваемый с 1956 г. и распространяемый как по подписке, так и через Книжную палату, является открытым научным журналом и включен в перечень ВАК ведущих научных журналов, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований.

Редакция журнала сообщает, что она не несет ответственности за информацию, представленную авторами, возможно, содержащую сведения, составляющие гостайну или ограниченного распространения, а также сведения конфиденциального характера или научно-технические достижения, которые могут составить предмет изобретения или ноу-хау.

В случае каких-либо затруднений при пересылке рукописи статьи звоните в редакцию по тел. 8-499-190-95-51 (Эмме Саркисовне Зубенковой).

**Rules for Authors of Papers to be Published
in Journal of Medical Radiology and Radiation Safety**

1. Papers on all areas of medical radiology and radiation safety are acceptable for publication. Papers can be experimental, clinical, theoretical or conceptual ones as well as reviews of literature of discussible, historical or chronicle character and information on issues of medical radiology and radiation safety; overviews or chronicles are acceptable too.

2. Papers should be sent in two hard copies printed in 1.5 line spacing (**obligatory!**) and as files recorded on CD or 3.5" diskette. Besides, to preserve the diskette damage, the folder named DUBL (duplicate) should be present on the diskette and contain all files as well (files can be compressed by archiving software to save the disk space). The outer surface of the diskette should be inscribed by the family name of the first author and paper title. The e-mailing of the paper is possible.

3. The word processor software of *Word for Windows* is recommended; the font of *Times New Roman 12 regular* and 1.5 line spacing are recommended. The paragraph spacing of 0.6 cm should be pre-established applying "Format – Paragraph – Paragraph Spacing". The left margin levelling of the page text should be done without word's breaks; document margins are 2 cm. Dots at the end of headers (including author family names) as well as at the end of separate sentences (headers of tables, pictures, picture inscriptions etc.) should not be placed. The long ("—") and short ("–", in multiple part word) dashes should be distinguished. To input long dash, please, use combination of buttons "Ctrl" and upper right button of "–" on the keyboard. All syntax signs should be followed by space.

4. Papers of experimental or clinical character should have the following parts (no dots after part titles, levelling on left margin, **bold font** of 12):

Introduction

Material and methods

Results and discussion

Conclusions (list of items)

LITERATURE REFERENCES (upper case letters, font 12 regular, left margin levelling).

Papers of theoretical and conceptual character usually do not have section of **Material and methods**.

Literature reviews have:

Introduction

Sections on separate issues under discussion and **Conclusions**.

Instead of abstract, the **CONTENTS** should be provided and include list of these sections.

5. The first page of the paper (no number) should be started from **initials and family names of authors** (this very order); the endpoint dot is absent and the bold font is used. In one line spacing, the upper case letters should be used to print the **TITLE OF THE PAPER**. The next items (in one line spacing) are initials and family names of authors (in English) and (after one more line spacing) the title of paper (in English) written in upper case letters. Than (after three lines spacing) keywords (in Russian and in English) should be provided:

Keywords: [in light *italic* font] (in Russian)

Empty line

Keywords: [in light *italic* font] (in English)

In the bottom of page the name(s) of institution(s) should be provided (obligatory for all employees). If co-authors are affiliated by different institutions, the footnote ^{1, 2} etc. should be put at the end of co-author family name with correspondent link number at the beginning of the institution name. The mail address of each institution is not obligatory. Only the e-mail address is obligatory.

Please, note the necessity to write family names and initials of all co-authors and institution name in English. Family names and first names (editors are interesting in initials only) in English can be written in different ways and editors would like to keep the spelling of your preference. The name of the institution in English should be the official name established by the Statute of your institution. Editors are not always able to make the adequate translation of this name, for instance, because different institutions named in Russian as "Scientific Center" can have English names of "Research Center", and American spelling of "Centre" is also possible.

At the bottom of the page the author communication information should be provided to solve the editorial issues: mail address (including post index), numbers of telephone (including home telephone number), facsimile and e-mail address (obligatory!)

6. On the second page (with page number) the Russian language abstract should be placed.

ABSTRACT

Purpose:

Material and methods:

Results:

Conclusion:

The names of abstract parts should be underlined. After the colon the text should start from Upper case letter. The abstract should contain the essence of work done as well as the major numerical information; the size of the abstract should be less than one page (1.5 line spacing).

7. The third page should contain the abstract text in English; the exact correspondence of Russian and English texts of the abstract are not required.

ABSTRACT

Purpose:

Material and methods:

Results:

Conclusion:

8. The paper body text should be started at page 4. The marks of first inclusion of reference to picture or table should be put on the page margins.

All formulae should be composed using mathematical editor of Word MS Equation. Formula numbers should be written in regular font at the right side of the manuscript and put in round brackets. Each table and each picture should be provided in separate page without page number.

The words of *Table 1* should be written in light italic and placed at the left above the table. The next line should contain the topical name of the table (in bold lower case letters) with central levelling; the table cells should not be shaded. The decoding of symbols and/or acronyms given in the table should be done by **Note:** (started from the upper case letter and written in bold font), which should be placed under the left lower corner of the table. The note text should not be underlined. If the table cell(s) does not contain any data the long dash “—” should be placed (no short dash “-” should be placed).

9. All graphs and diagrams in the picture are accepted in black – white or colour and they should be done applying MS Excel or MS Word diagrams. The grey or colour scale pictures and photographs of good clarity and contrast and resolution of 300 pixels/inch at least should be saved in tiff/jpeg/png/gif format and attached as separate files (pictures should not be placed just into the Word document!). All inscriptions on pictures, graphs and diagrams (including coordinate axis inscriptions) should be done in Russian only. It is recommended not to overload pictures with inscriptions in picture field: it

is preferable to number different elements of image and decode these numbers in the picture underneath text. Similar fragments of the picture should be marked by lower case Cyrillic letters: *a, b, c* etc.; picture files can be compressed by common used archive software. Picture printouts should be numbered using soft pencil. The underneath texts of the pictures should be placed in the separate page according to the picture numbering order. The text reference to the pictures and tables should be as follows: Fig. 11 and Table 4.

10. LITERATURE REFERENCES should be placed after the body text. Since 2008 this list is formatted as the numbered list of bibliography references **in the reference order** in the body text of the paper irrespectively to their language of quoting or inscription. Family names and initials of authors (this very order) are in italic. In case of four and more authors only 3 first authors should be written and *et al* should be added. Than the title of paper and bibliography data should be provided. The name of periodical publication (journal) or compendium should be preceded by // (double slash). Journals should be named according to common used acronyms; monographs and compendium names should be given in full. After the name of journal the year, **volume** (bold regular font, “Vol.” should not be written), number of issue (no brackets), initial and final page numbers of quoted paper (separated by long dash and without spacing) should be given. The name of monograph, separate report, dissertation etc. should be followed by the place of publishing, publisher or organization, and the year of publication. The name of the compendium should be followed by the family name and initials of the editor or compiler.

LITERATURE REFERENCES should be composed, if possible, applying the automated computerized numbering; the numbers should be placed into square brackets within the paper body text for reference.

Please, be attentive with proper punctuation (dot, dash, colon, comma, double slash, spacing etc.) and page symbol (pp. when indicating to the total number of pages in the publication and P. when indicating specific pages in the publication) and signs of Issue, No. (for English language keyboards without Russian sign of number); P. and p. are written separately from the following number. Please, follow to the examples below:

Ivanov I.A., Petrov P.A., Nikitenko N.A. et al. Radiation therapy of oesophagus cancer. // Med. Radiol. and Radiat. Safety, 1996, **41**, No. 6, P. 14–17.

Ivanov I.A., Petrov P.A., Nikitenko N.A., Kolomijcev N.P. Stress of Paper Preparation. – St.Pb.: Medicina, 2000, 820 pp.

Liaginskaya A.M., Romanova L.K., Pokrovskaya M.S. Hazards of foetus irradiation. // In: "Reproductive health of female and offspring in radioactive contaminated regions". Ed. by: *M.Ya. Fedorov, V.I. Krasnopol'sky*. – M.: Medicina, 1997, P. 246–260.

Karavaev P.I. Topometrical preparation of oncological patients for conformal irradiation. – M.: Abstract of Ph.D. Thesis, 2007, 32 pp.

Akiyama M. Role of somatic mutations for risk evaluation. // In: Proc. of Fukui Workshop on Health Risks: Perspectives. Ed. by *T. Sugahara, K. Torizuka, S. Kobayashi, I. Ishii* – Kyoto: Health Research Foundation, 1992, P. 172–175.

Author A.A., Author B.B., Author C.C. et al. Radiation and health. // Lancet, 1999, **109**, Suppl. 3, No. 5, P. 2–5.

Otake M., Schull W. Radiation-related small head sizes among prenatally exposed atomic bomb survivors. TR 6–92. – Hiroshima: RERF, 1992, 87 pp.

World Health Organization. Environmental Health Criteria *2.5, Selected Radionuclides. – Geneva: WHO, 1983, 234 pp.

When referencing to our journal it is necessary to write its volume referenced. Please, see below volume numbers according to years:

2008 – Vol. **53**; 2009 – Vol. **54**; 2010 – Vol. **55**; 2011 – Vol. **56**; 2012 – Vol. **57**; 2013 – Vol. **58**; 2014 – Vol. **59**.

For German language journals, please, use Bd. (Band) – volume, H. (Heft) – part (issue) and S. (Seite) – page.

11. The accepted abridgements, acronyms and symbols correspond to existing standards. Other abridgements are permitted. Please, note the absence of dots after the majority of abridgements.

General: year – y. (with dot); years – yy. (with dot); month – mo; week – wk; day – d; hour – h; minute – min; second – s; kilogram – kg; gram – g; milligram – mg; microgram – µg; litre – L; millilitre – mL; microliter – µL; kilometre – km; metre – m; centimetre – cm; millimetre – mm; micrometre – µm; nanometre – nm; billion – bn; million – mn; thousand – th. (with dot); absolute unit – abs. unit; units – u.; molarity of the solution (after the number) – M, mM; region – reg.; compendium – comp.; that is – i.e.; and so on – etc.; part – p.; volumetric percentage – vol. % (with dot); temperature – 42 °C or 315 K (separately from the number as same as percentage, %); pascal – Pa; kilohm – kOhm; volt – V; kilovolt – kV; amper – A; milliamper – mA; fractions like nmol/L, mg/kg, MBq/km² are written with dash.

Radiation physics: becquerel – Bq; megabecquerel – MBq; gray – Gy; application of non-SI units of radioactivity, curie (Ci), millicurie (mCi), microcurie (µCi) is not recommended; sievert – Sv, millisievert – mSv; tesla – T; electronvolt – eV, kiloelectronvolt – keV, megaelectronvolt – MeV; radionuclide symbols are written as ¹³⁷Cs, ^{99m}Tc ("m" is Latin!) or cesium – 137, technetium – 99m but not like Cs¹³⁷, Tc^{99m}; gamma radiation, beta particles, alpha particles – Greek letters are permitted; potential on X ray tube in peak kilovolts – kVp; half attenuation layer – HAL; 6 MV bremsstrahlung radiation but bremsstrahlung radiation of 6 MeV maximum energy; photoelectric multiplier – PEM; semiconductor detector – SCD; thermoluminescent dosimeter – TLD; IR – infrared; UV – ultraviolet; HF – high frequency; UHF – ultrahigh frequency; nuclear power plant – NPP.

Diagnostic radiology: USI – ultrasound imaging; MRI – magnetic resonance imaging; MRS – magnetic resonance spectrometry; ESR – electron spin resonance; X-ray CT – computer tomography (X ray computer tomography); digital subtraction angiography – DSA; X ray image amplifier (IA); devices with charge sensitive response – CCD (for instance, digital X ray detector with CCD matrix); metal – oxide – semiconductor – MOS (for instance, MOS capacitor); electronic optical transformer – EOT; exposition is measured in mAs; picture archive and communication system – PACS.

Nuclear medicine: single photon emission computer tomography – SPECT; positron emission tomography – PET; radioimmunological assay – RIA; gamma camera, gamma tomography machine; radionuclide diagnosis – RND; radionuclide therapy – RNT; radiopharmaceutical agent – RPA, modulation transfer function – MTF; spatial resolution is measured in mm of FWHM (full width at half maximum of sensitivity function peak for point radiation source); fluoride desoxiglucose – FDG.

Radiobiology: relative biological efficiency – RBE; linear energy transfer – LET; cumulative radiation effect – CRE; oxygen amplification factor – OAF; deoxyribonucleic acid – DNA; ribonucleic acid – RNA; linear quadratic model – LQM; lethal dose – LD; acute radiation syndrome – ARS, chronic radiation disease – CRD.

Radiation therapy: radiation therapy – RT; intraoperational radiation therapy – IORT; intensity modulated radiation therapy and image guided radiation therapy – IMRT and IGRT; total focal dose – TFD; single focal dose – SFD; source to skin distance – SSD; multileaf collimator – MLC; dose – time fractionation factor – DTF; dose – volume histogram – DVH. It is not recommended to use centigrey (cGy) and centisievert (cSv) units, Gy and Sv or mGy and mSv should be used instead.

Radiation safety: radiation safety – RS; radioactive waste – RW; minimal significant activity (at the workplace) – MSA; radiation accident – RA; radiation safety standards – RSS; sanitary rules and norms – SRN; ionizing radiation source – IRS.

General medicine: central nervous system – CNS; arterial tension –AT; ischemic cardiac disease – ICD; circulated blood volume – CBV; erythrocyte sedimentation rate – ESR; electrocardiogram – ECG.

Non-standard acronyms should be avoided, when authors consider them as common used but they are not familiar to the journal audience majority. The abridgement should be introduced in brackets only at first inclusion of this term in the abstract and/or in the paper body text. The application of any (even common used) acronyms is not permitted in the title of paper.

12. Leave only significant numbers. For instance, if the expected number of disease cases is 7.2 and only 11 cases were observed, than their ratio is expressed as 1.53 or even 1.5 but not as 1.5277. The average quadratic deviation and average error should not have more numbers after comma if compared to the average. Please, give the name of statistical criterion when making the confidence judgement.

Several reminders:

3rd, 5th, 7th and 8th positions; third, fifth, seventh and eighth positions

5 litres, 20 per cents; it is not recommended to write “in twenty five patients”, “for thirty five cases” etc.

“Label agent” but “technetium-99m labelled agent”

“One digit” numbers below 10 are recommended to write in words not in signs. Decimal fractions in the abstract and main text (including those in tables and pictures) should be separated by comma in Russian and dot in English abstract.

13. The style of the paper material presentation should correspond to generally accepted literature language norms. Please, read thoroughly the paper text before dispatching it to the journal and correct all revealed mistakes. Please, put the special attention to punctuation.

If reviewers or editors propose to revise the paper, the written review with comments will be sent to author. The revised copy of the paper should be sent to journal on new diskette and in a hardcopy.

In case of any difficulties of the paper formatting, please, take the recent year issue of the journal as the template or call to editors: telephone number: +7(499) 190 9551.