

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

2013

Том 58

№ 4

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

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

А.Ф. Цыб (общие вопросы)

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://fmbscfmba.org> далее раздел Публикации

Правила для авторов: Instructions for authors:

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

Подписано в печать 25.06.2013. 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, Живописная ул., 46

СОДЕРЖАНИЕ № 4 – 2013

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	5	О некоторых механизмах социального усиления риска при освещении в СМИ аварии на Фукусима <i>Е.М. Мелихова, Е.М. Быркина, Ю.А. Першина</i>
	17	К вопросу о вредных условиях труда в радиологических подразделениях медицинских учреждений <i>К.В. Котенко, А.Ю. Бушманов, И.Е. Тюрин, В.А. Костылев, С.И. Ткачев, Б.И. Долгушин, А.А. Бойко, Б.Я. Наркевич</i>
	23	Современные подходы к оценке радиационного воздействия на окружающую среду <i>А.А. Удалова, С.Е. Гераськин, Р.М. Алексахин, С.М. Киселев</i>
РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА	34	Клинико-психофизиологическая адаптация больного в периоде отдаленных последствий острой лучевой болезни <i>Н.А. Метляева</i>
	42	Анализ медицинских последствий радиационных инцидентов на территории бывшего СССР (по материалам регистра ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России) <i>В.Ю. Соловьев, А.В. Барабанова, А.Ю. Бушманов, А.К. Гуськова, Л.А. Ильин</i>
	48	Биоэлектрическая активность мозга у работников Билибинской атомной электростанции, имеющих различную степень риска ишемического инсульта <i>Н.А. Исаева, Ф.С. Торубаров, З.Ф. Зверева, С.Н. Лукьянова</i>
ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА	55	Продолжительность жизни, выживаемость и основные причины смерти в отдаленные сроки после перенесенной острой лучевой болезни <i>И.А. Галстян, Н.М. Надежина</i>
	64	Компьютерная томография в диагностике абсцессов легких <i>А.П. Дунаев, Ж.В. Шейх, В.Н. Яковлев, В.Г. Алексеев, Е.В. Есин, Н.С. Дребушевский, В.И. Дога, Г.Г. Федченко, А.Н. Башков, О.О. Григорьева, В.Г. Жуховский, С.А. Ульянов</i>
РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА, ТЕХНИКА И ДОЗИМЕТРИЯ	72	Приближенное определение параметров радиобиологической модели плоскоклеточного рака гортани <i>Л.Я. Клеппер</i>
	80	Основные итоги работы и перспективы исследований в области радиобиологии инкорпорированных радионуклидов в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. <i>К 50-летию лаборатории токсикологии радиоактивных веществ</i>
ХРОНИКА		

CONTENTS № 4 – 2013

RADIATION SAFETY	5 On the Issue of Certain Mechanisms of Social Amplification of Risk in Media Coverage of the Fukushima NPP Nuclear Accident <i>E.M. Melikhova, E.M. Byrkina, Y.A. Pershina</i> 17 To the Question about Unhealthy Condition of Work in Radiological Departments of Medical Enterprises <i>K.V. Kotenko, A.Yu. Bushmanov, I.E. Tyurin, V.A. Kostylev, S.I. Tkachev, B.I. Dolgushin, A.V. Boyko, B.Ja. Narkevich,</i> 23 Current Approach to Environment Radiation Impact Assessment <i>A.A. Oudalova, S.A. Geras'kin, R.M. Alexakhin, S.M. Kiselev</i>
RADIATION MEDICINE	34 Clinico-Psychophysiological Adaptation of the Patient During Period of Acute Radiation Disease's Remote Consequences <i>N.A. Metlyaeva</i> 42 Review of the Radiation Accidents Consequences in the Former USSR Territory (Burnasyan FMBC of FMBA of Russia Register Data) <i>V.Yu. Soloviev, A.V. Barabanova, A.Yu. Bushmanov, A.K. Guskova, L.A. Ilyin</i> 48 Brain Bioelectric Activity of Bilibinsky Atomic Power Station Workers Having Various Degree of Risk of the Ishemic Stroke <i>N.A. Isaeva, F.S. Torubarov, Z.F. Zvereva, S.N. Lukyanova</i> 55 Life Expectancy, Survival Rate and the Main Causes of Death in the Late Period of the Acute Radiation Syndrome <i>I.A. Galstyan, N.M. Nadejina</i>
DIAGNOSTIC RADIOLOGY	64 Computed Tomography in the Diagnostics of Lungs Abscess <i>A.P. Dunaev, ZH.V. Sheikh, V.N. Yakovlev, V.G. Alekseev, E.V. Esin, N.S. Drebushevskiy, V.I. Doga, G.G. Fedchenko, A.N. Bashkov, O.O. Grigor'eva, V.G. Zhukhovitskiy, S.A. Ul'aynov</i>
RADIATION PHYSICS, TECHNOLOGY AND DOSIMETRY	72 The Approached Estimation of Radiobiological Model Parameters for Larynx Squamous Cell Carcinoma <i>L.Ia. Klepper</i>
CHRONICLE	80 Main Results of Work and Perspective of Research in Radiobiology of Incorporated Radionuclides in A.I. Burnasian FMBC. To 50th anniversary of the laboratory of toxicology of radioactive substances

Е.М. Мелихова, Е.М. Быркина, Ю.А. Першина

**О НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЗМАХ СОЦИАЛЬНОГО УСИЛЕНИЯ
ВОСПРИЯТИЯ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ В СМИ
АВАРИИ НА АЭС ФУКУСИМА**

E.M. Melikhova, E.M. Byrkina, Y.A. Pershina

**On the Issue of Certain Mechanisms of Social Amplification of Risk in Media
Coverage of the Fukushima NPP Nuclear Accident**

РЕФЕРАТ

Цель: Анализ восприятия радиационного риска населением РФ и выявление механизмов социального усиления риска при освещении российскими СМИ аварии на АЭС Фукусима.

Материал и методы: 1. Всероссийский опрос на тему радиационных последствий аварий на АЭС Фукусима и на ЧАЭС, проводился Фондом «Общественное мнение» в рамках еженедельного исследования ФОМнибус в октябре 2012 г. по заказу ИБРАЭ РАН.

2. Контент-анализ публикаций об аварии на АЭС Фукусима в общероссийских печатных изданиях «Известия» и «Комсомольская правда» за период 11.03–11.05.2011.

Результаты: Более 50 % респондентов считают, что фукусимская радиация привела к гибели многих людей (тысячи, сотни тысяч, свыше миллиона). Распределение ответов по числу погибших от радиационного воздействия в Фукусиме аналогично распределению ответов по Чернобылю и практически не зависит от возраста, образования, уровня доходов, места проживания и рода занятий респондентов.

Центральные российские газеты освещали аварию на АЭС Фукусима так же широко, как стихийное бедствие, произошедшее в Японии и унесшее жизни более 15 тысяч человек. В каждой третьей статье о Фукусиме упоминался Чернобыль. Также выявлены другие механизмы усиления риска — использование «пугающих» слов в заголовках статей, умышленное или неумышленное проецирование на аварию последствий стихийного бедствия, наличие непонятных и противоречивых комментариев по поводу риска для Японии. Последнее связано не с комментариями российских антиядерных алармистов, их на страницах центральных газет не было, а с имманентными проблемами радиационного нормирования в диапазоне малых доз.

Выводы: Формирование в общественном мнении образа Фукусимы как катастрофы глобального масштаба было вполне закономерным. Предубеждение общественности в отношении атомных технологий обусловило повышенное внимание к аварии со стороны СМИ. Отсутствие в первые две недели на международном уровне четкого и согласованного сигнала о незначительности радиологических последствий для Японии создало условия для раскручивания темы в СМИ, в результате чего произошел негативный перенос представлений о Чернобыле на Фукусиму. Без решения ключевого вопроса о своевременном и согласованном информировании общественности на международном уровне трудно ожидать, что в будущем ситуация может развиться как-то иначе.

Ключевые слова: контент-анализ СМИ, опрос общественного мнения, авария на АЭС Фукусима, восприятие риска, механизмы социального усиления риска, информирование о радиационном риске

ABSTRACT

Purpose: To analyze the public perception of radiation risk and reveal mechanisms of social amplification of risk in Fukushima accident media coverage in Russia.

Material and methods: 1. An all-Russian public opinion poll about radiological consequences of Fukushima and Chernobyl nuclear accidents. The poll was conducted by the Public Opinion Foundation within the framework of weekly survey FOMnibus in October 2012. The questions were designed by IBRAE RAS specialists.

2. A content analysis of articles concerning the Fukushima NPP nuclear accident in two national newspapers: “Izvestiya” and “Komsomolskaya Pravda” from 11.03.2011 to 11.05.2011.

Results: More than 50 % of respondents believed that radiation from Fukushima resulted in a lot of deaths (thousands, hundreds of thousands, more than a million). Distribution of answers considering the death toll due to Fukushima’s radiation was similar to distribution of answers for the same question about Chernobyl. This distribution virtually doesn’t correlate with respondent’s age, education, income, residence or occupation.

Media coverage of the nuclear accident at the Fukushima NPP in Russian national newspapers was as extensive as the coverage of the natural disaster in Japan which killed more than 15 thousand people. Every third article about Fukushima also mentioned Chernobyl. Some other mechanisms of risk amplification were noticed as well: using of frightening words in article’s headlines, intentional and unintentional projecting of consequences of the natural disaster on the radiation accident, presence of unclear and contradictory comments on radiation hazard for Japan. The last mechanism was mainly due to the immanent problem of radiation safety standards in low dose range.

Conclusion: Development of Fukushima accident image as a global scale disaster was quite a natural phenomenon. Public prejudice against nuclear technology motivated increased media attention towards the accident. During two first weeks there was no clear and coordinated signal on international level stating that radiological consequences for Japan would be insignificant. This provided ample breeding ground for agitation on the issue in mass media. As a result, negative transfer of Chernobyl image on Fukushima has occurred. Until the key problems of timely and consistent public information on international level are not solved, we are unlikely to expect a different sequence of such accidents in future

Key words: media content analysis, public opinion poll, Fukushima nuclear accident, risk perception, mechanisms of social amplification of risk, informing on radiation risk

Введение

Впервые о решающей роли СМИ в формировании неадекватной общественной реакции на радиационную опасность российские специалисты заговорили через несколько лет после аварии на Чернобыльской АЭС. В начале 1990-х «четвертую власть» обвиняли в том, что она дезинформирует население и дестабилизирует социально-психологическую обстановку на пострадавших территориях. Причину начавшейся в конце 1980-х в СМИ «чернобыльской вакханалии» специалисты видели в конъюнктурности СМИ на этапе становления свободной прессы [1, 2]. Ведущие радиологи и эксперты по радиационной защите были готовы аргументированно объяснять властям и населению реальную степень опасности, но их не слушали, обвиняли в геноциде собственного народа и т.п. Когда через четверть века произошла авария на Фукусиме, закономерно возник вопрос, насколько адекватно сегодняшние медийщики интерпретировали радиационный риск в ходе освещения событий на японской АЭС.

В 2011 г. в лаборатории мониторинга здоровья НИИ радиационной гигиены были проанализированы газетные публикации об аварии на АЭС Фукусима из нескольких российских изданий (включая дальневосточные) и официальная информация об аварии на веб-сайтах Росгидромета и Роспотребнадзора [3]. Было показано, что в течение первого месяца после аварии СМИ достаточно полно отражали официальную информацию. Публиковались интервью с представителями МАГАТЭ, ООН, МЧС, Росгидромета и Росатома. В целом, по мнению авторов исследования, все статьи в СМИ, затрагивающие тему радиации, имели успокаивающую или нейтральную эмоциональную окраску. В то же время, проведенные этими же авторами выборочные опросы жителей Дальнего Востока продемонстрировали неадекватное восприятие риска населением [4]. В разных регионах от 70 % до 83 % респондентов (были опрошены 217 человек, в основном работающие женщины с высшим или средним специальным образованием) выразили уверенность в радиоактивном загрязнении территории их проживания. Почти треть опрошенных применяли те или иные защитные меры от «фукусимской радиации», в частности, принимали йод. Что заставило этих людей беспокоиться о своем здоровье, если СМИ давали успокаивающую информацию о риске, авторы, к сожалению, не выясняли.

За рубежом анализом СМИ в связи с событиями в Фукусиме занимаются в основном филологи и эксперты по коммуникации риска [5]. С их точки зрения, в Японии недоверие населения к информации о риске являлось следствием ошибок и просчетов властей в информировании общественности. Американ-

ские эксперты по коммуникации риска, сами участвовавшие в освещении прошлых аварий (Три-Майл-Айленд-1979 и Чернобыль-1986), отмечают, что во время Фукусимы вопросам риска в СМИ уделялось гораздо больше внимания, чем ранее. Но если раньше журналистам было трудно найти компетентных экспертов, то сейчас проблема в другом — в интернет-пространстве на публику обрушился слишком большой поток разнообразных экспертных мнений. Вместо того, чтобы помочь общественности «отделить зерна от плевел», многие журналисты просто задавали вопросы официальным лицам и транслировали их ответы [6, 7]. Ответы японских властей жителей не устраивали, вызывали у них недоверие и возмущение [8]. Распространенность этих явлений в [6–8] не обсуждается.

Социологи из университета Антверпена, сотрудничающие с бельгийским Ядерным научным центром SCK • CEN в Моле, с помощью классической методики контент-анализа показали, что об аварии на Фукусиме бельгийские печатные СМИ много писали в течение двух месяцев, хотя внимание к теме постепенно снижалось [9]. С одной стороны, пресса была эффективным инструментом информирования населения о событиях в Японии. С другой стороны, информационный голод, в котором японские власти в первые дни аварии держали мировые СМИ, заставлял журналистов публиковать поспешные сообщения с неподтвержденными завышенными или, наоборот, заниженными оценками риска. Часто сообщения противоречили друг другу. Был отмечен эффект «коллективной памяти о Чернобыле»: почти каждый день в течение первых двух месяцев выбранные для анализа бельгийские СМИ сравнивали Фукусиму с Чернобылем. Отчасти это было вызвано приближением 25-й годовщины Чернобыля. Память о Чернобыле негативно повлияла на обсуждение будущего атомной энергетики.

Аналогичное исследование печатных СМИ в Италии и Словении показало, что в этих странах, как и в Бельгии, журналисты освещали не только события на аварийной станции и действия ликвидаторов на площадке, но и рассматривали ситуацию в более широком контексте, включая будущее атомной энергетики [10]. В прессе наряду с исходными сообщениями, описывающими событие, приводились интерпретации (например, экспертные оценки рисков для здоровья), и читателю приходилось только догадываться, где достоверная информация, а где спекуляции. Среди тех, чьи высказывания чаще других приводили СМИ, — политики, экологические активисты, независимые исследователи и эксперты. Если между официальными источниками и участниками обсуждения выявлялись конфликты или противоре-

чия, журналисты обязательно обращали на это внимание читателя. Большинство публикаций затрагивали тему радиационной опасности, но только в 10 % из них приводились данные измерений радиационной обстановки. В большинстве же случаев журналисты характеризовали ситуацию, сравнивая степень опасности с какими-то реперами (с естественным фоном, различными «нормами» и т.д.).

Из анализа литературы мы можем предположить, что усиление риска при освещении японской аварии могло иметь место и в российских СМИ. Если журналисты действительно добросовестно транслировали официальную информацию, усиление могло происходить из-за ненадлежащего качества передаваемых в СМИ официальных сообщений и/или из-за актуализации журналистами общественных стереотипов, связанных с радиационной опасностью и Чернобылем. В настоящей работе мы будем рассматривать последнюю гипотезу.

Материал и методы

Согласно теории социального усиления риска (SARF), первичный сигнал об опасном событии интерферирует с другими сигналами, характерными для психологических, социальных и культурных процессов, что может приводить к усилению или ослаблению восприятия сигналов о риске и даже изменять поведение людей [11]. Это, в свою очередь, вызывает вторичные эффекты — социальные, экономические, культурные. Вторичные эффекты могут во много раз превзойти ущерб, обусловленный воздействием первичного события или процесса.

В настоящей работе в качестве первичного сигнала о радиационном риске мы рассматриваем оценки Технического кризисного центра ИБРАЭ РАН и Росатома:

«Технический кризисный центр Института проблем безопасного развития атомной энергетики заявляет, что по обстановке на данный момент радиационной угрозы для населения Японии нет. Кроме того, при любом неблагоприятном развитии событий в дальнейшем институт подтверждает отсутствие угрозы для населения Российской Федерации» (Радиационная обстановка на Дальнем Востоке в норме, сообщает МЧС. // РИА Новости, 12 марта 2011. <http://hide.su/1pt4>).

«Даже самый пессимистичный сценарий развития ситуации не предполагает трансграничного перемещения газообразных продуктов деления, которые привели бы к повышению радиационного фона на Дальнем Востоке России до уровня, способного оказать влияние на здоровье населения (до 10 миллизивертов) и требующего проведения специальных ме-

роприятий» (Сообщение департамента коммуникаций Росатома. // Официальный сайт Росатома, 12 марта 2011. <http://hide.su/1pt3>).

Первый сигнал от российских специалистов о том, что негативных последствий для здоровья населения Японии не ожидается, но информации по Японии для надежных прогнозов не хватает, поступил в СМИ также 12 марта:

«Российские специалисты считают, что угрозы населению Российской Федерации от аварий в Японии нет. Вместе с тем, компания ТЕРСО информирует о происходящем на своих АЭС дозированно и ограниченно. Не время для комментариев и гипотез. Только факты, известные на 10:00 МСК. Единственный комментарий — события идут по типу аварии ТМІ-2, а не Чернобыля, т.е. блок или блоки будут потеряны, но угрозы населению не создается» (Япония — сводка, 12.03.2011, 10-00 МСК. // AtomInfo.ru, 12 марта 2011. <http://www.atominfo.ru/news5/e0124.htm>).

«Рафаэль Арутюнян, первый заместитель директора Института проблем безопасного развития атомной энергетики: «Ни о каких Чернобылях, ни о каких катастрофических сценариях, при которых есть угроза здоровью реальная, а не мифическая, речи не идет. Хотя все непросто: в этой экстраординарной обстановке обеспечивать гарантированную стабильную ситуацию на станции задача сложная. Может быть выброс, если охлаждение будет недостаточным. Люди получают дозу дополнительного облучения. Но при таких дозах об угрозе здоровью, конечно, речи не идет»». (Телепрограмма «Сегодня». // Телеканал НТВ, 12 марта 2011. <http://www.ntv.ru/2011/03/12/>).

По мере получения новых данных из Японии оценки риска уточнялись, но общий вывод об отсутствии риска оставался неизменным и в течение нескольких дней регулярно транслировался через центральные СМИ. Наряду с сигналами из ИБРАЭ и Росатома в СМИ поступала информация из многих других источников (рис. 1). В данной работе мы будем анализировать интегральный сигнал, выходящий из СМИ, и сравнивать его с первичным сигналом об отсутствии риска.

Для анализа СМИ нами были выбраны два общероссийских печатных издания с разным подходом к информационному освещению событий: «Комсомольская правда» и «Известия». Печатные издания — самый распространённый вид СМИ в РФ. Аудитория интернет-СМИ пока гораздо меньше. Почти все традиционные (печатные) СМИ имеют сайты в Интернете. Но интернет-версии печатных материалов иногда выходят с задержкой, иногда доступ к материалам и/или архивам является платным. Интернет-страницы печатных СМИ могут полностью повто-

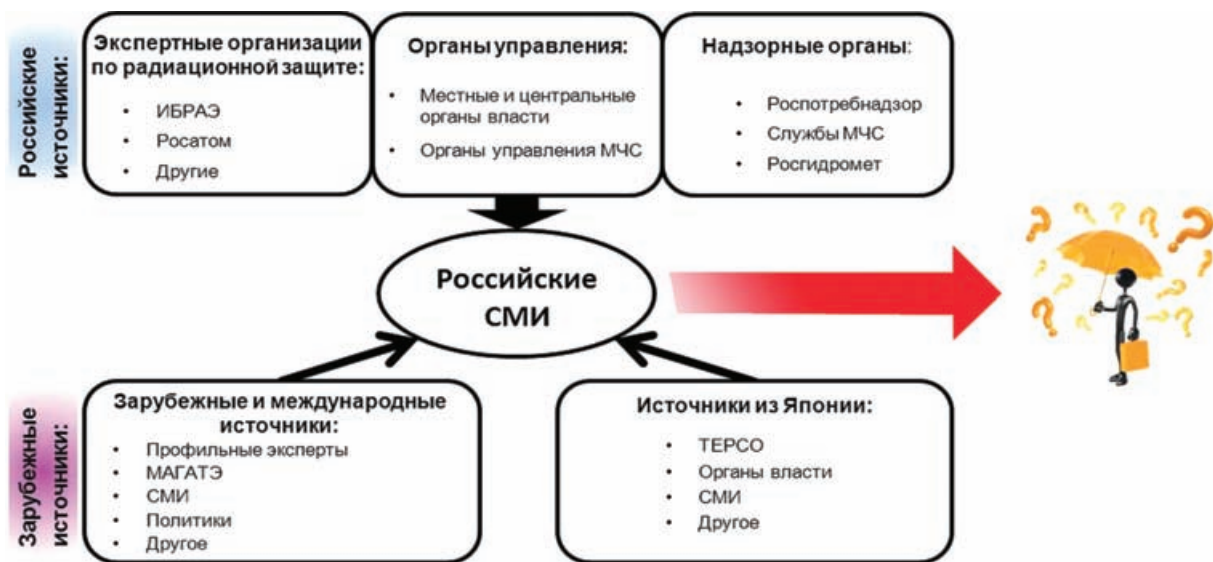


Рис. 1. Основные источники, из которых российские журналисты получали информацию о радиационной аварии на АЭС Фукусима

рять содержание оффлайновых выпусков, но, бывает, содержат только анонсы статей и/или тексты прошлых номеров или имеют дополнительный контент.

«Комсомольская правда» — ежедневная информационная общественно-политическая газета с самым крупным в России тиражом: ежедневный выпуск газеты — 655 тыс. экземпляров, тираж дополнительного пятничного многостраничного выпуска составляет 2,7 миллиона экземпляров. При анализе рассматривались как публикации в ежедневных выпусках, так и в еженедельнике. «Комсомольская правда» ориентируется на широкий круг читателей и сочетает информирование с развлечением.

«Известия» — это общенациональная ежедневная деловая общественно-политическая газета. Её тираж составляет 80 тыс. экземпляров. В 2009 г. ведущая международная компания в сфере мониторинга средств массовой информации TNS Media Intelligence пришла к выводу, что «Известия» — один из основных источников деловых и политических новостей в информационном пространстве России [12].

Для анализа отбирались газетные статьи, прямо или косвенно связанные с событиями на АЭС Фукусима-1, с 11 марта по 11 мая 2011 года включительно. Подборка статей шла по наличию одного или нескольких ключевых слов: «Фукусима», «атомный», «ядерный». Статьи, содержащие ключевые слова, но не касающиеся аварии на АЭС, исключались из анализа. Газетные подшивки для анализа были предоставлены фондом газет Российской государственной библиотеки. Всего были просмотрены более ста выпусков газет. Из-за отсутствия электронных версий газет поиск ключевых слов проводился визуально.

После первого просмотра были отобраны 153 статьи. Тематически далекие от Фукусимы статьи просматривались менее внимательно, и пропуски ключевых слов были не исключены. Дополнительный просмотр всех газетных материалов увеличил число статей в выборке до 172. После этого возможный недоучет не превышает 5 %.

Мы проводили контент-анализ СМИ по методике, разработанной бельгийскими социологами [9]. Контент-анализ — это метод качественно-количественного анализа содержания документов. При восприятии текста и особенно больших текстовых потоков читатель, как правило, интуитивно ощущает различные тенденции в содержании, в представлении той или иной информации и т.д. Цель контент-анализа состоит в том, чтобы систематизировать эти интуитивные ощущения, сделать их наглядными и проверяемыми. В зависимости от стоящей перед исследователем задачи определяют метод отбора публикаций, список категорий и единиц анализа, способ проверки надежности результатов и т.д.

Бельгийские социологи любезно предоставили нам кодировочную таблицу (табл. 1), использованную в работе [9]. Мы модифицировали ее, исходя из следующей гипотезы (табл. 1). В острый период аварии на АЭС Фукусима российские СМИ, хотя и публиковали официальную информацию об отсутствии риска для населения, но в то же время создавали у публики ощущение реально нависшей над миром радиационной опасности. Предварительный анализ публикаций в российских СМИ показал, что это ощущение могло создаваться за счет следующих механизмов усиления риска:

Таблица 1

Фрагмент кодировочной таблицы

Категории анализа	Единицы анализа	Статья 1	Статья 2
Данные о радиационной обстановке	Зиверт или производные от Зв	0	0
	Рентген или производные от Р	0	1
	другое	0	0
	нет данных	1	0
Сравнение опасности радиационной обстановки	с риском при медицинских процедурах	1	0
	с риском при авиаперелетах	0	0
	с естественным фоном	0	0
	с опасными / безопасными уровнями	0	0
	с «нормами» и регламентами	0	0
	с прошлыми авариями	0	1
	другое	0	0
	нет сравнений	0	0

- повышенного внимания к событию со стороны СМИ;
- броских и тревожных заголовков;
- некорректной интерпретации данных о радиационной обстановке;
- численного перевеса комментаторов-алармистов над профессионалами в области радиационной защиты населения;
- проецирования представлений о последствиях Чернобыля на японскую аварию;
- проецирования последствий стихийного бедствия на техногенную аварию.

Поясним последний механизм. При чтении некоторых публикаций не всегда можно четко различить, где речь идет о последствиях землетрясения и цунами, а где – о последствиях аварии на АЭС. В результате у читателя может сложиться впечатление, что десятки тысяч людей погибли от радиационного воздействия, хотя, на самом деле, по этой причине в Японии, как известно, не погиб ни один человек [13]. Эффект проецирования, как мы его назвали, может возникать из-за некорректного заголовка статьи, иллюстрации или неточностей в тексте.

Для изучения перечисленных выше механизмов усиления риска в кодировочную таблицу мы включили соответствующие категории и единицы анализа (рис. 2).

В ту же таблицу были включены также категории и единицы анализа, позволяющие изучать некоторые аспекты раскрытия в СМИ темы риска для России и Японии.

Заполнение таблиц проводилось по стандартной схеме с участием трех человек. Два кодировщика заполняли таблицы независимо друг от друга, третий (главный) кодировщик выносил решения по несовпадающим пунктам и составлял сводную таблицу. Мера согласия между кодировщиками по каждой единице анализа оценивалась с помощью коэффициента «альфа Кrippендорфа» [14]. Коэффициент α принимает значения от -1 до $+1$. Обычно считается, что при $\alpha \geq 0,8$ сходимость хорошая, и выводы достаточно объективны.

Кроме контент-анализа в рамках данной работы был проведен всероссийский опрос общественного мнения о риске от аварии на АЭС Фукусима. Опрос проводился по заказу ИБРАЭ РАН фондом «Общественное мнение» (ФОМ). Поскольку ответы во многом зависят от формулировки вопроса, на этапе подготовки количественного исследования мы провели тестирование разных формулировок вопросов по теме радиационного риска (пилотаж в форме интервью) в группе студентов Гуманитарно-правового колледжа Московского городского педагогического университета. Тестирование показало, например, что два варианта закрытого вопроса, которые изначально казались нам близкими по смыслу, студенты воспринимали по-разному и соответственно давали разные ответы.

- В 2011 г. произошла авария на АЭС Фукусима в Японии. По Вашему мнению, сколько людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?
- В 2011 г. произошла авария на АЭС Фукусима в Японии. По Вашему мнению, сколько людей в Японии погибли в результате этой аварии?



Рис. 2. Распределение ответов респондентов на вопрос «В 2011 г. произошла авария на АЭС Фукусима в Японии. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», % от общего числа опрошенных

Упоминание о радиационном воздействии заметно сдвигало ответы в большую сторону. В результате в еженедельный общероссийский опрос ФОМнибус был включен такой вариант:

— В 2011 г. произошла авария на АЭС Фукусима в Японии. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?

В опросник ФОМ нами был включен также аналогичный вопрос по числу погибших на Чернобыльской АЭС. Третий вопрос (открытый) касался риска для здоровья населения Дальнего Востока от фукусимской радиации.

Результаты и обсуждение

Восприятие риска населением. На вопросы по радиационному риску респонденты отвечали в ходе

еженедельного исследования ФОМнибус 26–28 октября 2012 года. Всего были опрошены 1500 чел. в 44 регионах РФ. Опрос проводился в форме интервью по месту жительства респондента.

Треть респондентов затруднились ответить на вопрос о числе погибших от радиационного воздействия в результате аварии на Фукусиме (рис. 2). Более половины ответили, что от радиации погибли тысячи и более человек. Распределение ответов по японской аварии оказалось похожим на распределение по Чернобылю, с той разницей, что свои представления о Чернобыле смогли озвучить чуть больше россиян (рис. 3). В обоих случаях распределение ответов практически не зависит от возраста, образования, материального положения, места проживания и рода занятий респондентов (рис. 4 а, б).



Рис. 3. Распределение ответов респондентов на вопрос «В 1986 г. произошла авария на Чернобыльской АЭС. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», % от общего числа опрошенных

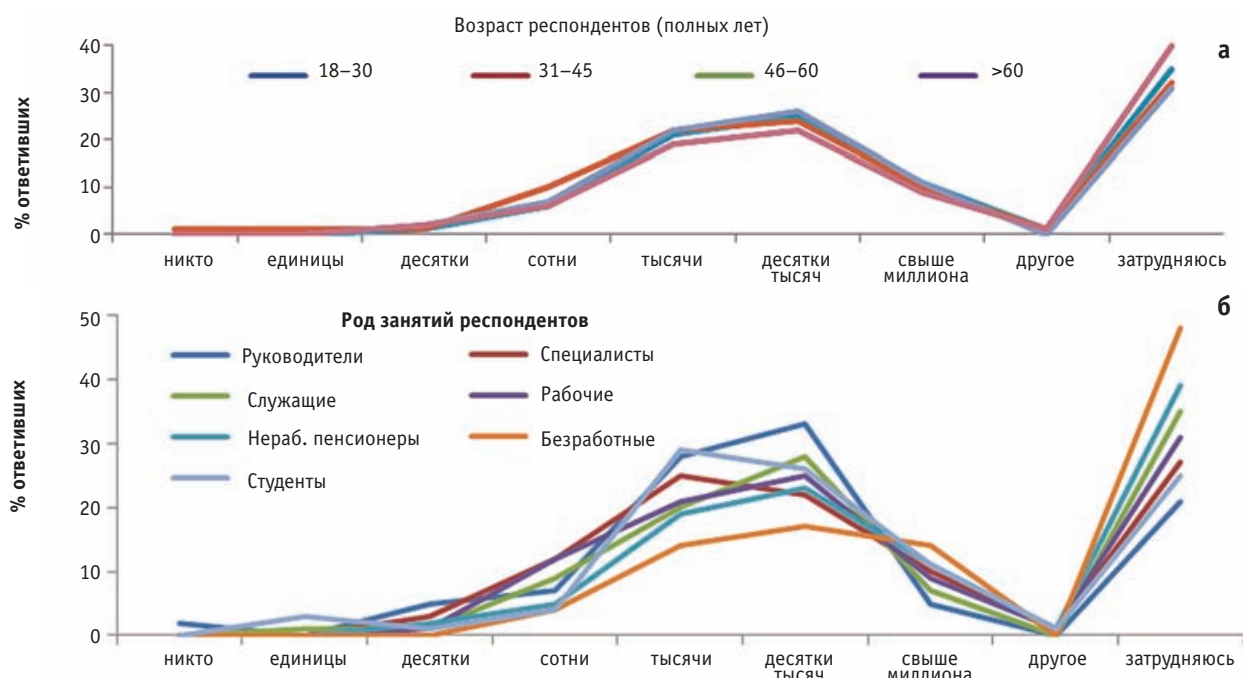


Рис. 4. Распределение ответов респондентов на вопрос «В 2011 г. произошла авария на АЭС Фукусима в Японии. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?» в зависимости от возраста (а) и от рода занятий респондентов (б)

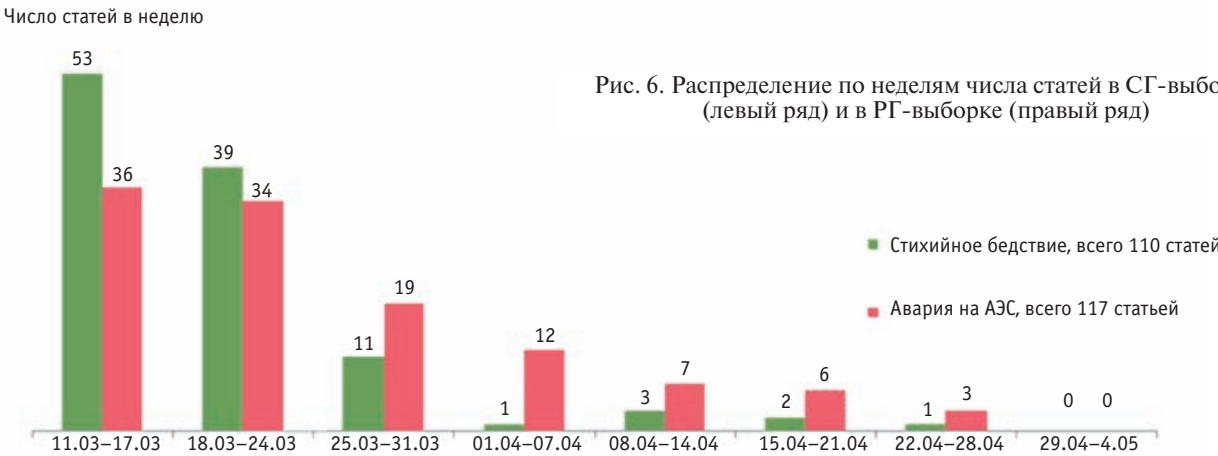
На вопрос о риске японской радиации для населения Владивостока затруднился ответить также каждый третий респондент. Почти каждый второй отвечал, что здоровье населения ухудшится, и только каждый десятый сказал, что последствий для здоровья не будет.

Таким образом, можно констатировать, что у россиян сформировалось представление об аварии на Фукусиме как о глобальной катастрофе. Меньшая осведомленность респондентов о последствиях Фукусимы по сравнению с Чернобылем и сходный вид двух распределений позволяют предположить, что в формировании восприятия риска от Фукусимы определенную роль могла играть коллективная память о Чернобыле.

Контент-анализ российских СМИ. Внимание российских СМИ к стихийному бедствию в Японии мы определяли по числу публикуемых в неделю статей, содержащих слово «Япония» в сочетании с хотя бы одним из следующих слов: «землетрясение», «цунами», «бедствие», «помощь». Статьи с этими ключевыми словами, не имеющие отношения к стихийному бедствию в Японии в 2011 г., исключались из анализа. Всего за 8 недель таких статей набралось 171 (СК-выборка, Стихийное бедствие, Ключевые слова).

Внимание к аварии на АЭС Фукусима определяли по еженедельному числу статей с одним из следующих слов: Фукусима, «атомный», «ядерный». В эту выборку попали 172 статьи (РК-выборка, Радиационная авария, Ключевые слова). В первые две недели о стихийном бедствии упоминали немного чаще, чем об аварии на АЭС, на 3-й и 4-й неделях – наоборот (рис. 5). До конца апреля внимание к Фукусиме поддерживалось за счет приближения 25-й годовщины Чернобыля. В начале мая японские события совсем сошли со страниц российских газет.

Для каждой статьи в СК-выборке и в РК-выборке определялась главная тема статьи. Авария на АЭС и стихийное бедствие могли быть одновременно главными темами, как правило, так было в репортажах из Японии, где рассматривалась ситуация в стране в целом. За два месяца общее число статей, посвященных стихийному бедствию, оказалось примерно равным количеству статей, где главной темой была авария на АЭС (РГ-выборка, Радиационная авария, Главная тема). В первые две недели российские СМИ чаще писали о последствиях землетрясения и цунами, чем о радиационной аварии (рис. 6). На третьей неделе Фукусима вышла на первый план. С пятой недели



Число статей в неделю

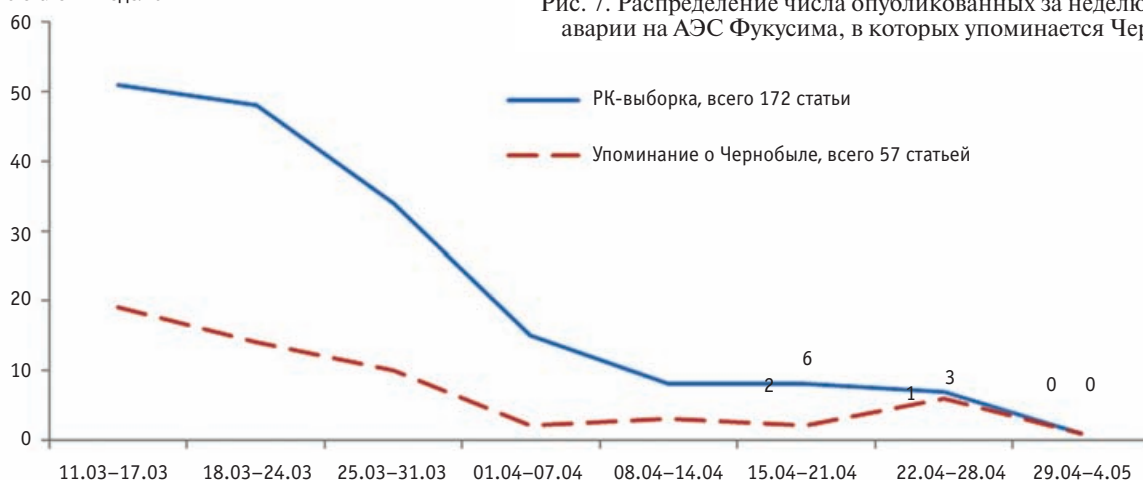


Рис. 7. Распределение числа опубликованных за неделю статей об аварии на АЭС Фукусима, в которых упоминается Чернобыль

события в Японии уже крайне редко были основной темой публикаций в российских газетах.

Таким образом, в течение первых двух месяцев уровень внимания российских печатных СМИ к аварии на АЭС, в которой не было жертв, был сопоставим с вниманием к стихийному бедствию в Японии, унесшему более 15 тыс. жизней [15].

В первые две недели Чернобыль упоминался в каждой третьей статье из РК-выборки. Об аварии на ЧАЭС средства массовой информации упоминали и дальше, вплоть до 26 апреля 2011 г., когда отмечалась 25-я годовщина чернобыльской аварии (рис. 7).

Из 172 статей РК-выборки эффект проецирования последствий стихийного бедствия на техногенную аварию встречается только в 15 %. Чаще всего проецирование происходит в тексте статьи (7 %) или из-за включения в публикацию некорректных иллюстраций (5 %). Были случаи, когда в статье с броским «ядерным» заголовком текст повествовал о последствиях стихийного бедствия, но такие статьи встречались крайне редко. В некоторых статьях попадались сразу несколько разных видов проецирования. Приведем несколько примеров проецирования:

— «Пока, по последним данным, стихия унесла жизни минимум 2300 человек, примерно 10 тысяч считаются пропавшими без вести и еще 215 тысяч лишились крова. К этим бедам добавились и аварии на атомных станциях — на одном из энергоблоков уже произошел взрыв, другие находятся под угрозой. Япония активно принимает помощь зарубежных стран...» (Япония боится нового взрыва на атомной станции. // Комсомольская правда, 14 марта 2011);

— Иллюстрация и подпись к ней в статье с названием «МАГАТЭ предупреждало катастрофе еще 3 года назад» (рис. 8):

Среди заголовков статей, относящихся к РК-выборке, «позитивных», развеивающих опасения («Ве-



Если бы правительство Страны восходящего солнца прислушалось к предостережениям МАГАТЭ и закрыло проблемные станции, то таких катастрофических последствий удалось бы избежать

Рис. 8. Иллюстрация в статье «МАГАТЭ предупреждало о катастрофе еще 3 года назад» (Комсомольская правда. 17 марта 2011)

тер уносит заразу от России», «Чернобыль не повторится»), было всего 15 % ($\alpha > 0,8$). Поскольку зачастую объективно разделить негативные и нейтральные интонации трудно, сходимость при определении интонации таких заголовков (и текстов статей) не очень высока ($\alpha \approx 0,7$). Например, заголовок «На станции произошел новый взрыв» один кодировщик может считать негативным, второй — нейтральным, констатирующим сухие факты. Негативная интонация зачастую фиксируется в тех случаях, когда в заголовке есть «пугающие слова». Эти слова относятся к одной из 4 групп: (1) события, ассоциируемые с большим количеством жертв — Чернобыль, атомная бомба; (2) события, вызывающее глубокое душевное

страдание (горе, беда, катастрофа); (3) смерть и опасность; (4) страх. «Пугающие» слова присутствовали почти в 40 % заголовков, относящихся к РК-выборке, и в 80 % заголовков, отнесенных кодировщиками к негативным.

Примерно в двух из каждых трех статей из РК-выборки журналисты не дают никаких ориентиров в отношении радиационной опасности: нет ни данных о радиационной обстановке, ни сравнений рисков (табл. 2). Зачастую авторы ограничиваются такими простыми описаниями как «опасно / неопасно», «высокий / низкий уровень радиации». Например, «...в радиусе 30-ти километров от станции фиксируется опасный для человека уровень радиации» (Президент — за ужесточение правил строительства АЭС? // Комсомольская правда, 25 марта 2011). Данные измерений радиационной обстановки журналисты приводят только в каждой пятой статье из РК-выборки, а качественное описание ситуации (опасности) через сравнение с каким-то репером дают в каждой третьей. «Голые» цифры без пояснений встречаются редко (3 %).

В качестве репера журналисты чаще всего используют различные «нормы», «безопасные уровни»,

Таблица 2

Частота включения в публикации РК-выборки данных измерений радиационной обстановки и сравнения рисков

Показатель	% от общего числа
Нет данных измерений, нет сравнения рисков	63
Есть данные измерений и есть сравнение рисков	19
Есть данные измерений	3
Есть сравнение рисков	15

«опасные уровни», во многих случаях совершенно некорректные. Например:

- «Зафиксировано около 40 микрорентген в час — это в несколько раз больше нормы» (Наши спасатели могут прекратить работу из-за радиации? // Комсомольская правда, 18 марта 2011);
- «Безопасной считается доза в 500 микрозивертов в час» (Защищены ли российские АЭС от ударов стихии? // Комсомольская правда, 16 марта 2011);
- «Дозы от 100 до 1000 рад вызывают лучевую болезнь у людей, которые подвергаются этому излучению от 1 до 3 дней» (Ветер несет радиацию в Тихий океан. // Комсомольская правда, 14 марта 2011).

Характеризуя радиационную опасность, журналисты гораздо реже используют в качестве репера

прошлые аварии, природный фон, риск от медицинских процедур (табл. 3).

Таблица 3

Частота использования разных реперов для сравнения радиационной обстановки или опасности ситуации

Репер	% от общего числа реперов
С риском при медицинских процедурах	4
С риском при авиаперелетах	1
С природным фоном	15
Другие сравнения	8
С различными "нормами", регламентами, опасными/безопасными уровнями	60
С историческими инцидентами	11

Примечание:
Общее число использования реперов — 73, общее число статей с использованием реперов — 58

Из 172 статей РК-выборки только в 5 прямо говорилось об отсутствии в Японии жертв радиационного воздействия. Эти утверждения исходили от специалистов Росатома или ИБРАЭ. Журналисты свое мнение по этому вопросу выражали в завуалированной форме. Например, рассказывая о судьбе эвакуированных из префектуры Фукусима жителей, автор резюмирует: «Для них началась новая жизнь. Может, и недолгая» (Столица горя. // Известия, 22 марта 2011). Журналист, разделяющий позицию профильных экспертов, пишет так: «Самую большую дозу облучения схватил один японский рабочий, которого считают чуть не инвалидом. Эта доза составляет 100 мЗв. По меркам МАГАТЭ и ВОЗ, этот человек чувствует себя так, будто год валялся в белых штанах на пляжах Копакабаны» (Наука ахинеи. // Известия, 17 марта 2011).

Переходя к обсуждению полученных результатов, следует напомнить, что мощное землетрясение и цунами в Японии 11 марта 2011 г. стали причиной множества природно-техногенных аварий (Natech-accidents). На пострадавших от цунами территориях располагались производственные мощности многих японских промышленных компаний. Например, в префектуре Ибараки находится крупнейший в Японии индустриальный комплекс нефтеперерабатывающих предприятий и множество химических производств, включая заводы компаний Gas Chemical (перекись водорода и поликарбонаты), Adeka Company (неорганические соединения хлора, антипирен для тушения пожара, каустическая сода и др.), Mitsubishi Chemical (самая большая линия по производству полиэтилена), Asahi Glass (каустическая сода, окислы полипропилена) и т.д. Серьезно пострадали производственные мощности крупных высокотехнологических и фармацевтических компаний в регионе

Тохоку (Canon, Elpida, Fujitsu, Hitachi, Honda, Kyocera, Nissan, Panasonic, Texas Instruments и др.).

По данным японских префектур, «во многих случаях с промплощадок были унесены не только контейнеры, но и целые хранилища с токсическими и другими вредными веществами, следы их не обнаружены». В окружающую среду попали значительные количества асбеста, бензола, кадмия, хрома, хлороформа, этиленгликоля, свинца, формальдегида и т.д. Многие из этих веществ наносят вред при вдыхании, являются нейротоксинами или канцерогенами. Некоторые из них представляют долговременную опасность как загрязнители почвы и воды [16]. Все эти крупные натеx-аварии и их последствия российская пресса практически оставила без внимания. За первые две недели (11–24 марта) из 171 статьи СК-выборки об аварии на АЭС Фукусима говорилось 68 раз, об авариях на нефтеперерабатывающих заводах (взрывы и пожары) – 3 раза, о других авариях – ни разу.

Наш анализ показал, что по количеству публикаций и длительности освещения в СМИ авария на АЭС, в которой не было жертв (два сотрудника на станции погибли в результате стихийного бедствия) [17], оказалась сравнимой со стихийным бедствием, унесшим более 15 тыс. жизней. Этот вывод подтверждается также данными международной компании Integrum World Wide, согласно которым в марте 2011 г. стихийное бедствие в Японии было темой № 1 в российских СМИ, а авария на АЭС Фукусима – темой №2, сильно опережающей все другие международные темы (рис. 9).

Таким образом, повышенное внимание СМИ к радиационной аварии, безусловно, имело место. Это

внимание – неотъемлемая часть отношения общественности к атомным технологиям во всем мире. Любое, даже малозначительное, нарушение в работе АЭС, если оно по каким-то причинам воспринимается журналистами как реальная авария, получает очень широкое освещение в СМИ. Здесь достаточно вспомнить трехдневный информационный кризис в центральных российских СМИ в связи с нарушением в работе Балаковской АЭС в ноябре 2004 г. (событие уровня 0 по шкале ИНЕС, незначимое с точки зрения безопасности). В европейских СМИ такая же волна поднялась в июне 2008 г. в связи с нарушением в работе словенской АЭС Крско, это событие также было оценено уровнем 0 по ИНЕС [9]. Повышенное внимание СМИ относится к факторам, работающим на повышение риска в глазах общественности [18].

Вторым ключевым механизмом усиления было частое упоминание Чернобыля. Психологам известен так называемый «негативный перенос», это прием психологического внушения, заключающийся в пробуждении ассоциаций с отрицательными (для объекта) образами, понятиями, идеями. Специалисты по коммуникации риска при ЧС знают, что отрицательную частицу «НЕ» люди часто не замечают / не слышат, поэтому специалисты не рекомендуют говорить во время радиационной ЧС «это не Чернобыль». Таким образом, любое упоминание Чернобыля в связи с аварией на Фукусиме работало на негативный перенос.

В 40 % заголовков статей о Фукусиме встречались пугающие слова, не только «Чернобыль», но и другие. Психологи выявили, что в восприятии реципиента существует механизм реконструкции структуры большого текстового массива на материале неболь-



Рис. 9. Международные тренды в российских СМИ в марте 2011 года, по материалам международной компании Integrum World Wide (<http://www.integrumworld.com/rus/news.html>)

шого текста. Этот механизм позволяет читателю формировать представление о содержании статьи на основе заголовка [19]. Считается, что с интенсификацией информационного обмена роль заголовков в газетных материалах многократно возросла — именно от них во многом зависит, будет прочитан материал или нет. Таким образом, довольно частое появление «пугающих» слов в заголовках придавало событиям на Фукусиме пугающий характер, что, как известно, тоже приводит к завышению воспринимаемой опасности [18].

Вольные или невольные искажения смысла, приводившие к проецированию последствий стихийного бедствия на радиационную аварию, встречались не так часто, но и они могли сыграть определенную роль в устрашении читателей, особенно, когда подкреплялись визуально. Фотографии, как известно, воспринимаются читателями быстрее и воздействуют на них подчас сильнее текстов [19].

В газетных текстах научно-обоснованные оценки риска встречались, но сравнительно редко. Не было прямых утверждений, что из-за радиации погибло много людей. В то же время число статей, в которых разрушительные последствия стихийного бедствия проецировались на радиационную аварию, значительно превышало число статей, в которых говорилось, что в результате радиационной аварии на Фукусиме никто не погиб (26 статей против 5).

Из-за особенностей современного нормирования радиационного риска невозможно объяснить обществу простым и понятным языком степень опасности в случае облучения в малых дозах [2]. Действительно, человеку без специальных знаний довольно трудно поверить, что многократное превышение нормативного уровня (основного предела дозы) не означает вреда здоровью. Множество реперов, приводимых в газетных текстах, дезориентируют читательскую аудиторию. Сами журналисты признают, что «Страх вызывает все непонятное. Разобраться в том, о чем с экранов телевизоров рассказывают эксперты, обычному человеку сложно еще и потому, что для измерения уровня радиации и оценки его опасности до сих пор используют с десяток разных единиц» (Облучение Японией. // Известия, 17 марта 2011). Подтверждение тому, что объяснение эксперта, у которого журналист брал интервью, не было понятно неспециалисту, находим здесь же: «Истинный смысл этой единицы /Зиверта/ понимают только ученые-физики, а нам важно знать, что предельно безопасной дозой для человека считаются 100 миллизиверт в час. Естественный фон радиации составляет у нас в России от 12 до 16 микрозиверт в час».

Когда степень опасности непонятна, люди обычно ориентируются на действия властей. Японские

власти 14 марта расширили зону эвакуации с 10 до 20 км и рекомендовали укрытие на расстоянии от 20 до 30 км. В то же время посольства многих зарубежных стран в Японии объявили срочную эвакуацию своих граждан в 80 км зоне. Неспециалист в этой ситуации может сделать только один вывод — специалисты сами не понимают, что происходит. Известно, что плохо понимаемый риск воспринимается как более опасный, чем риск, который можно легко объяснить или вообще не нужно объяснять [18]. Это еще один фактор усиления риска.

Что касается отсутствия радиационного риска в РФ, здесь ситуация была заметно лучше. Из 29 статей, в которых затрагивалась эта тема, в 16 говорилось об отсутствии риска при любом сценарии, и не было ни одной статьи, где бы утверждалось обратное. В 4 статьях констатировалось отсутствие опасности в текущий момент, еще в 4 статьях сообщалось, что опасность (пока) не прогнозируется, в 5 остальных — что опасность возможна (не исключена).

Выводы

Представления россиян о радиологических последствиях аварии в Фукусиме расходятся с фактами примерно в той же степени, как и представления о Чернобыле. В 2011 г. в российских СМИ не было того накала эмоций, пессимистических прогнозов и массовых фальсификаций, какие наблюдались на рубеже 1990-х годов. Пресса практически без искажений транслировала поступавший от российских специалистов сигнал об отсутствии радиационной опасности для населения РФ. Однако параллельно СМИ освещали события на Фукусиме таким образом, что радиационный риск воспринимался как весьма значительный.

Формирование образа катастрофы в российской прессе происходило вполне закономерно. Укоренившийся в общественном сознании страх перед атомными технологиями предопределил повышенное внимание СМИ к событию на японской АЭС. Не получив ни в первую, ни во вторую неделю четкого сигнала от мирового профессионального сообщества об отсутствии реального радиационного риска для населения Японии, СМИ стали «раскручивать» тему, сравнивая происходящее с Чернобылем, используя пугающие слова в заголовках, проецируя на аварию последствия стихийного бедствия, демонстрируя разнообразие мнений о риске. Все это работало на усиление риска. Возможно, действовали и другие механизмы. В итоге Фукусима, авария без особых радиологических последствий, обрела черты катастрофы глобального масштаба, которая, по мнению россиян, отразилась и на соседних странах, включая РФ.

Без целенаправленных изменений в системе радиационного нормирования, которые позволят быстро и просто объяснять населению радиационный риск при аварии, трудно ожидать, что выявленные закономерности не повторятся в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бархударов Р.М., Мелихова Е.М. Чернобыльская авария и средства массовой информации. // В кн. «Ядерная безопасность: социогуманитарные структуры». Под ред. В.С. Степина и др. — М.: ИФРАН, 1998, С. 89–91.
2. Арутюнян Р.В., Линге И.И., Мелихова Е.М. Диалог с общественностью о безопасности атомной энергетики: уроки Чернобыля. // Бюлл. по атомной энергии, 2003, № 2, С. 54–58.
3. Зыкова И.А., Гарбуз Ю.А., Зеленцова С.А., Романова О.Б. Анализ публикаций об аварии на АЭС Фукусима в средствах массовой информации. // Радиационная гигиена, 2011, 4, № 3, С. 43–49.
4. Романович И.К. 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, 335 с., С. 264–280.
5. Perko T. Importance of journalism and mass communication for nuclear emergency management. // J. Mass. Commun. Journalism, 2012, 2, No. 8. <http://dx.doi.org/10.4172/2165-7912.1000e127>
6. Friedman Sh. M. Three Mile Island, Chernobyl, and Fukushima: An analysis of traditional and new media coverage of nuclear accidents and radiation. // Bull. Atom. Sci., 2011, 67, No. 5, P.55–65.
7. Sandman P.M. Media coverage of Three Mile Island versus Fukushima: getting experts versus vetting experts. — The Peter Sandman Risk Communication Website, 22 June 2011. <http://www.psandman.com/gst2011.htm#nukes6>
8. Ropeik D. Poor risk communication in Japan makes the fear much worse. // Psychology today, 22 March 2011. <http://www.psychologytoday.com/blog/how-risky-is-it-really/201103/poor-risk-communication-in-japan-makes-the-fear-much-worse>
9. Perko T., Turcanu C., Geenen D. Media reporting and changes in public opinion after Fukushima nuclear accident: The Belgium as case study. // Internat. J. Nucl. Governance, Economy and Ecology, 2012.
10. Cantone M.C., Perko T., Turcanu C. et.al. Content analysis of the media reporting on the Fukushima nuclear accident in three European countries. // In: 13th International Congress of the International Radiation Protection Association, Glasgow, 2012.
11. Kasperson J.X., Kasperson R.E., Pidgeon N., Slovic P. The social amplification of risk: Assessing fifteen years of research and theory. // In: “The social amplification of risk”. Ed. by N. Pidgeon, R.E. Kasperson, P. Slovic. — Cambridge: Cambridge University Press, 2003, P. 13–46.
12. TNS Media Intelligence. Деловые издания — лидеры по длительности цитирования. Данные исследования издания за май 2009 — Новости пресс-центра на интернет-сайте TNS Media Intelligence, 05.06.2009. http://www.tns-global.ru/rus/press/news/_news_article.wbp?article-id=1DB65DC1-CD03-445F-AC67-0A746F24DFD5
13. World Health Organization. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami.— Geneva: WHO, 2012, 120 pp. http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf
14. Krippendorff K. Reliability in content analysis. Some common misconceptions and recommendations. // Human Commun. Res., 2004, 30, No. 3, P. 411–433.
15. National Police Agency of Japan. Damage situation and police countermeasures associated with 2011 Tohoku district-off the Pacific Ocean earthquake. March 11, 2013. — опубликовано на официальном сайте Национального полицейского агентства Японии. http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo_e.pdf
16. Bird W.A., Grossman E. Chemical aftermath: contamination and cleanup following the Tohoku earthquake and tsunami. // Environ. Health Perspectives, 2011, 119, No. 7, P. 290–301.
17. TEPCO. Press Release. (Comment) Employees of TEPCO who were missing at Fukushima Daiichi nuclear power station. — опубликовано на официальном сайте TEPCO, 03.04.2011.
18. Covello V., Sandman P.M. Risk communication: evolution and revolution. // Solutions to an Environment in Peril — Baltimore: John Hopkins University Press, 2001, P. 164–178. <http://www.psandman.com/articles/covello.htm>
19. Гуревич С.М. Газета: вчера, сегодня, завтра. Учебное пособие для вузов. — М.: Аспект Пресс, 2004. <http://evartist.narod.ru/text10/01.htm>

Поступила: 15.03.2013

Принята к публикации: 23.05.2013

**К.В. Котенко¹, А.Ю. Бушманов¹, И.Е. Тюрин², В.А. Костылев³,
С.И. Ткачев⁴, Б.И. Долгушин⁴, А.В. Бойко⁵, Б.Я. Наркевич^{3,4}**

К ВОПРОСУ О ВРЕДНЫХ УСЛОВИЯХ ТРУДА В РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

**K.V. Kotenko¹, A.Yu. Bushmanov¹, I.E. Tyurin², V.A. Kostylev³,
S.I. Tkachev⁴, B.I. Dolgushin⁴, A.V. Boyko⁵, B.Ja. Narkevich^{3,4}**

To the Question about Unhealthy Condition of Work in Radiological Departments of Medical Enterprises

РЕФЕРАТ

Рассмотрена проблема вредных условий труда в радиологических подразделениях медицинских учреждений России. Приведены конкретные примеры неправильной трактовки этого понятия при назначении льготной пенсии по старости для сотрудников подразделений лучевой терапии, лучевой диагностики и ядерной медицины. Выполнен анализ причин необоснованных отказов в назначении льготной пенсии. Показано, что все они обусловлены ошибочной классификацией персонала на различные категории в соответствии с действующей в настоящее время нормативной документацией по радиационной безопасности. С целью решения данной проблемы предлагается классифицировать не персонал, а место его работы. Такой подход соответствует рекомендациям МКРЗ и МАГАТЭ по обеспечению радиационной защиты персонала от профессионального облучения. В соответствии с ними назначение льготной пенсии следует связывать с выполнением должностных обязанностей в зонах контроля и (или) наблюдения.

Ключевые слова: медицинская радиология, лучевая терапия, лучевая диагностика, ядерная медицина, вредные условия труда, профессиональное облучение, льготная пенсия

ABSTRACT

The problem of unhealthy condition of work in radiological departments of medical institutions of Russia has been considered. Specific examples of incorrect interpretation of this notion for the preferential age pensions setting for workers of the radiotherapy, x-ray diagnostics and nuclear medicine departments is presented. The analysis of the causes of unjustified denial of preferential pensions is accomplished. It is shown that all of them are caused by mistaken classification of personnel in the various categories in accordance with current radiation safety standards. To solve this problem it is proposed to classify not the personnel, but the working place. Such an approach complies with the recommendations of the ICRP and IAEA for the radiation protection of workers. In accordance with the purpose of preferential pensions should be linked with performance of official duties in the controlled or (and) monitored areas.

Key words: medical radiology, radiation therapy, diagnostic radiology, nuclear medicine, unhealthy condition of work, occupational irradiation, preferential pension

Введение

Как известно, в подразделениях лучевой терапии, лучевой диагностики и ядерной медицины персонал различных медицинских учреждений подвергается воздействию профессионального облучения при выполнении своих должностных обязанностей. В федеральном российском законодательстве [1, 2] такие работы относятся к категории работ с вредными условиями труда. Однако и в указанных федеральных законах, и в подзаконных актах отсутствует научно обоснованное и юридически строгое определение

этого понятия применительно к условиям радиационного воздействия на организм работников радиологических подразделений. По этой причине и вследствие несовершенства действующих нормативных документов практика последних 20–30 лет показывает, что при аттестации рабочих мест в таких подразделениях и при решении вопросов о предоставлении работникам тех или иных льгот за работу в условиях профессиональной вредности нередко возникают конфликты между администрацией учреждения и работниками. Еще более жесткие конфликты между

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

² Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава России, Москва

³ Ассоциация медицинских физиков России, Москва.
E-mail: narvik@yandex.ru

⁴ Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина РАМН, Москва

⁵ Московский научно-исследовательский институт им. П.А. Герцена Минздрава России, Москва

¹ A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia

² Russian Medical Academy of Postdiploma Education, Moscow, Russia

³ Association of Medical Physics in Russia, Moscow, Russia.
E-mail: narvik@yandex.ru

⁴ N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center of RAMS, Moscow, Russia

⁵ P.A. Herzen Moscow Research Oncological Institute, Moscow, Russia

работниками и специалистами из территориальных органов социального обеспечения имеют место при назначении льготных пенсий.

Цель данного сообщения — рассмотрение актуальных вопросов и наиболее типичных ситуаций по оценке вредных условий труда в подразделениях лучевой терапии, лучевой диагностики и ядерной медицины и выработка научно обоснованных рекомендаций по разрешению указанных конфликтных ситуаций и правоприменительной практике действующего нормативного законодательства в области предоставления льгот для сотрудников медицинских учреждений, работающих в условиях профессионального облучения.

Лучевая терапия

В современной лучевой терапии онкологических больных имеется чётко выраженная тенденция всё более широкого использования мощных линейных ускорителей электронов, генерирующих терапевтические пучки высокоэнергетического тормозного излучения большой проникающей способности. В отличие от применяющихся в настоящее время гамма-терапевтических аппаратов с закрытыми радионуклидными источниками, на ускорителях имеют место более вредные условия труда персонала, постоянно и непосредственно работающего на них. В частности, на персонал воздействуют следующие факторы, отсутствующие при работах на гамма-терапевтических аппаратах и, тем более, на рентгенотерапевтических аппаратах:

Фотонейтроны, возникающие в мишени ускорителя и достигающие пультной через радиационную защиту. Компонента фотонейтронов особенно значительна на ускорителях с пучком тормозного излучения более 18 МВ.

1. Наведенная радиоактивность, возникающая под воздействием тормозного излучения и фотонейтронов в различных материалах и средах. Это особенно относится к материалам радиационной головки ускорителя, радиационной защиты (радионуклиды ^{24}Na , ^{28}Al , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{56}Co , ^{64}Cu , ^{122}Sb , ^{203}Pb и др.) и к воздуху в каньоне ускорителя (радионуклиды ^{11}C , ^{13}N и ^{15}O). Важно подчеркнуть, что после выключения ускорителя наведенная радиоактивность никуда не девается и облучает персонал, входящий в каньон для укладки очередного больного и (или) для производства других работ.
2. Образование в воздухе химически токсичных соединений озона, оксида азота, толуола, оксида углерода, ацетона и др., которые наряду с указанными выше радиоактивными газами также ингалируются персоналом [3].

3. Образование и ингаляция повышенного уровня радона ^{222}Rn и радиоактивных аэрозольных продуктов его распада, выделяющихся из массивной бетонной радиационной защиты ускорителя. Это обуславливает более высокий уровень внутреннего облучения персонала, чем на гамма-терапевтических аппаратах, где толщины радиационной защиты существенно меньше и количество выделяемого радона также гораздо ниже.

Перечисленные факторы имеют еще более высокую выраженность в центрах протонной и нейтронной терапии, уже работающих в ряде городов России (Москва, С.-Петербург, Томск, Обнинск, Дубна, Троицк и др.)

Таким образом, работы персонала на медицинских терапевтических ускорителях отличаются более высоким уровнем радиационной вредности, чем на установках для гамма-терапии и на рентгенотерапевтических аппаратах.

В зарубежных радиологических и онкологических клиниках идёт необратимый процесс постепенной замены гамма-терапевтических аппаратов с источниками ^{60}Co для дистанционного облучения больных на линейные ускорители электронов, на которых генерируются высокоинтенсивные пучки фотонов и электронов. Это обусловлено гораздо более широкими клиническими возможностями ускорителей, позволяющими облучать с высокой степенью конформности опухолевые очаги любой локализации, в том числе и глубоко расположенные в теле больного. При этом форма глубинного распределения дозы существенно лучше, чем на гамма-терапевтических аппаратах, что позволяет резко снизить количество и степень тяжести лучевых осложнений в окружающих нормальных тканях.

По официальным данным МАГАТЭ, в США теперь работают около 4200 медицинских ускорителей и только 13 дистанционных гамма-терапевтических аппаратов. То же соотношение варьирует в разных странах Зап. Европы от 50:1 до 10:1. В России этот процесс замены также развивается во всё более возрастающем темпе. В частности, в РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН соотношение «ускорители / гамма-терапевтические аппараты» равно 7:1.

Однако медицинский и инженерно-технический персонал подразделений лучевой терапии в отечественных клиниках, как правило, отказывается работать на терапевтических ускорителях из-за отсутствия их упоминания в Списке № 1 по льготным пенсиям [4], предпочитая работать на гамма-терапевтических аппаратах, попадающих под действие Списка № 1. Такая ситуация должна быть охарактеризована как совершенно неприемлемая по следующим причинам:

1. Снижение качества радиологической помощи населению. Вынужденная замена ускорителей на гамма-терапевтические аппараты приводит к значительному возрастанию количества рецидивов опухолей и лучевых осложнений. Иначе говоря, из-за бюрократических трудностей страдают интересы больных.
2. Отсутствует научная и практическая обоснованность игнорирования в Списке № 1 работ на медицинских ускорителях, которые отличаются повышенным уровнем радиационной опасности по сравнению с работами на гамма-терапевтических, рентгенотерапевтических и рентгенодиагностических аппаратах.
3. Невозможность обеспечения занятости всего персонала подразделений лучевой терапии на немногочисленных гамма-терапевтических аппаратах приводит к нездоровой психологической обстановке в коллективе, возникновению вполне обоснованного чувства социальной несправедливости и, в конечном счёте, к постоянной утечке квалифицированных кадров.
4. В ряде учреждений для выполнения требований к попаданию в Список № 1 идут на фальсификацию данных, вносимых в рабочие журналы по работам на гамма-терапевтических аппаратах, включая туда сотрудников, реально работающих только на ускорителях.

На протяжении последних 20 лет Ассоциация медицинских физиков России (АМФР) при поддержке ведущих отечественных радиологов неоднократно обращалась в различные государственные и профсоюзные органы страны со всей этой аргументацией. После многочисленных комиссий различного уровня и малосодержательных ответов на обращения АМФР в январе 2012 г. был получен официальный ответ Пенсионного фонда России (исх. № АП-25-11/382 от 18.01.2012), который целесообразно процитировать полностью для информирования работников подразделений лучевой терапии отечественных клиник.

«Пенсионный фонд Российской Федерации рассмотрел вопрос о праве на досрочное назначение трудовой пенсии по старости по Списку № 1 (раздел XIX, позиция 12300000-17541), утвержденному постановлением Кабинета Министров СССР от 26 января 1991 г. № 10, работников учреждений здравоохранения, занятых на линейных ускорителях электронов, и сообщает.

Действующим законодательством право на досрочное назначение трудовой пенсии по старости по Списку № 1 (раздел XIX, позиция 12300000-17541) установлено работникам учреждений здравоохранения независимо от наименования их профессий и

должностей, постоянно и непосредственно работающим на гамма-терапевтических аппаратах.

Согласно заключению главного специалиста по лучевой диагностике Минздравсоцразвития России — заведующего кафедрой лучевой диагностики, лучевой терапии и медицинской физики Российской медицинской академии последипломного образования Тюрина И.Е. — гамма-терапевтические аппараты и линейные ускорители электронов предназначены для создания и пространственного формирования пучка гамма-излучения. Вне зависимости от технологических особенностей получения пучка гамма-излучения и конструктивных особенностей конкретных модификаций приборов, оба типа аппаратов, по мнению Минздравсоцразвития России, следует относить к гамма-терапевтическим установкам.

В этой связи работники учреждений здравоохранения, постоянно и непосредственно работающие на линейных ускорителях электронов, могут пользоваться правом на досрочное назначение трудовой пенсии по старости по Списку № 1 (раздел XIX, позиция 12300000-17541),

В территориальные органы ПФР направлено соответствующее письмо.

Заместитель Председателя
Правления

А.Н. Пудов»

К большому сожалению, за прошедшие после получения данного письма 1,5 года ситуация с назначением льготных пенсий работающим на ускорителях реально никак не изменилась, поскольку в территориальных органах Пенсионного фонда России либо не знают об этом письме, либо сознательно не выполняют приведенные там указания. Об этом свидетельствуют многочисленные обращения в АМФР из ряда регионов России от врачей-радиологов, медицинских физиков и рентгенолаборантов, работающих на терапевтических ускорителях.

Далее, в подразделениях лучевой терапии существуют категории работников, также не попадающих под действие Списков №1 и № 2, поскольку в их должностные обязанности не входит непосредственная работа на радиационно-терапевтических установках (младшие медицинские сестры по уходу за больными в ходе курса лучевой терапии, санитарки и др.). Однако для всех них при работе в подразделениях лучевой терапии постоянно существует опасность потенциального облучения. В Публикации 103 МКРЗ [5] это понятие трактуется как «облучение, которое, как ожидается, возникнет не обязательно, но может возникнуть в результате аварии с источником или возникновения цепочки событий вероятностного характера, включая последовательные отказы оборудования и ошибки оператора» (раздел «Глоссарий» в

[5]). Наличие подобного радиационного риска должно быть серьезным контраргументом при принятии решения администрацией учреждения о непредоставлении льгот указанным категориям работников.

Лучевая диагностика

В области рентгенодиагностических исследований и интервенционной радиологии (рентгенохирургии) также имеются 2 проблемы назначения производственных льгот и льготной пенсии.

Первая из них состоит в том, что научные сотрудники, работающие в подразделениях рентгенодиагностики и рентгенохирургии научно-исследовательских учреждений здравоохранения России, лишены как производственных льгот (надбавка к заработной плате за вредные условия труда), так и возможности выхода на льготную пенсию по Списку № 1. При этом в должностных инструкциях у них всех записано, что научный сотрудник выполняет служебные обязанности врача-рентгенолога и постоянно работает на рентгеновском аппарате, что реально и происходит. В то же время обычные врачи-рентгенологи (не научные сотрудники) пользуются такими льготами и без существенных затруднений оформляют льготную пенсию именно по Списку № 1. Нам не удалось найти конкретного нормативного документа, по которому вводятся столь необоснованные и несправедливые ограничения.

Вторая проблема связана с проведением интервенционно-радиологических процедур под рентгеновским контролем и относится к операционным бригадам, выполняющим эти процедуры. Специфика всех этих процедур состоит в том, что при их реализации персонал получает дозы профессионального облучения, сравнимые и даже иногда превосходящие установленные в НРБ-99/2009 [6] пределы дозы. Эта лучевая нагрузка теперь наиболее высокая по сравнению со всеми другими специалистами, которые работают в остальных разделах медицинской радиологии, даже по сравнению с работающими в подразделениях радионуклидной терапии. В частности, по этой причине МКРЗ в настоящее время пересматривает предел дозы профессионального облучения для хрусталика глаза, имея в виду его ужесточение с 150 до 50 мЗв/год [5].

В этих же процедурах помимо профессионалов-рентгенологов, которые официально отнесены к группе А персонала по НРБ-99/2009, также участвуют и специалисты других медицинских специальностей — кардиологи, анестезиологи, урологи, онкологи, хирурги и т.д. Однако почему-то их относят к группе Б персонала, хотя лучевая нагрузка на них практически такая же, как у рентгенологов, а иногда и выше. Но если рентгенологам положены все льго-

ты (льготная пенсия, надбавка к зарплате за вредные условия труда, сокращённый рабочий день), то специалистам из группы Б персонала такие льготы не предоставляются. Мотивировка отнесения этих специалистов к группе Б у администрации обычно базируется на том, что они непосредственно не работают на рентгеновских аппаратах и в соответствии с НРБ-99/2009 не могут быть отнесены к группе А персонала. Здесь не только отсутствует логика, но и обычный здравый смысл и элементарная справедливость.

Ядерная медицина

Основным условием назначения льготной пенсии по Списку № 1 для работников подразделений ядерной медицины (радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии) в настоящее время является наличие на рабочем месте открытого источника ^{226}Ra активностью не менее 10 мКи или другого радионуклида, эквивалентного 10 мКи ^{226}Ra по радиотоксичности. Это условие, узаконенное около 60 лет тому назад по инициативе работников атомной промышленности, не отвечает элементарным основам радиационной гигиены и не учитывает реальную специфику работы с открытыми радиоактивными соединениями в современных медицинских учреждениях:

- а) В медицинских учреждениях у нас в стране и за рубежом уже около 70 лет не работают и не будут работать с любыми препаратами ^{226}Ra , т.к. уже разработаны и широко используются другие радионуклиды, более эффективные для диагностики и терапии.
- б) В основных регламентирующих документах по работам с источниками ионизирующих излучений (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 [7]) вообще отсутствует понятие радиотоксичности, не говоря уже о юридически строгой формулировке этого понятия. Поэтому нельзя однозначно установить — является ли данный радионуклид с определённой активностью эквивалентным по радиотоксичности источнику 10 мКи ^{226}Ra .
- в) В отличие от работ с источниками ^{226}Ra , проводимых в атомной промышленности только в изолированных боксах с мощной радиационной защитой, в медицинских подразделениях радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии все работы проводятся с реально открытыми радионуклидными источниками.
- г) При этом основным источником профессионального облучения персонала являются пациенты с введенными в организм радиофармпрепаратами. В радиационные поля от таких пациентов попадает весь без исключения персонал указанных подразделений. Другой источник профессионального об-

лучения — попадание радиоактивных загрязнений в воздух и на рабочие поверхности в этих подразделениях, что приводит к инкорпорации радионуклидов в организм работающих.

- д) Согласно отечественным и зарубежным литературным данным, дозы профессионального облучения персонала указанных подразделений сопоставимы и в ряде случаев даже превышают дозы облучения работников атомных электростанций и атомной промышленности.

Если формально следовать логике изложенного в Списке № 1 требования непосредственной работы с радионуклидами, эквивалентными по радиотоксичности 10 мКи ^{226}Ra , то в подразделениях ядерной медицины льготную пенсию могут получать только процедурные медицинские сестры, занятые фасовкой и введением в организм больного различных радиофармпрепаратов. Весь остальной персонал, который, как показывает практика, подвергается профессиональному облучению на уровнях, сопоставимых с установленным в НРБ-99/2009 пределом дозы, якобы не попадает под действие Списков № 1 и № 2. Абсурдность такой ситуации очевидна, поскольку введенный в тело пациента радиофармпрепарат превращает такого больного в мобильный источник облучения всех окружающих лиц, в том числе и всего персонала, причем с практически неконтролируемыми перемещениями этого источника внутри и вне помещений подразделения ядерной медицины. Нельзя также забывать и о потенциальной опасности инкорпорации радионуклидов от неизбежных радиоактивных загрязнений рабочих поверхностей оборудования, одежды, помещений и инвентаря, возникающих в ходе производственных процессов радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии. В частности, практика показывает, что санитарка, убирающая загрязненный радиоактивностью туалет для больных, получает индивидуальную дозу облучения, сопоставимую с таковой для процедурных медицинских сестер.

Обсуждение и рекомендации

Внимательный анализ показывает, что все описанные проблемы в подразделениях лучевой терапии, лучевой диагностики и ядерной медицины обусловлены одной и той же причиной — несовершенством концепции классификации субъектов профессионального облучения, положенной в основу как в НРБ-99/2009, так и пенсионном законодательстве России.

Дело в том, что группы А и Б персонала регламентированы только в отечественном нормативном документе НРБ-99/2009, тогда как в международном законодательстве такое подразделение персонала на

группы отсутствует в принципе. Аналогичным образом, понятия непосредственно работающих с источниками излучения и только находящихся в поле их воздействия также являются плодом творчества чиновников, не обладающих необходимым уровнем компетенции в области радиационной безопасности. То же самое относится к работающим на гамма-терапевтических аппаратах и терапевтических ускорителях, к научным сотрудникам радиологических подразделений и производственному персоналу этих подразделений и т.д.

В отличие от отечественных нормативных документов в указанной области, еще в 1990 г. МКРЗ указывала (см. Публикацию № 60 МКРЗ [8]), что для обеспечения радиационной безопасности персонала следует классифицировать не сам персонал по тем или иным критериям, а место его работы, которое должно быть подразделено на зоны контроля и наблюдения. Та же самая концепция была подтверждена и позже, в 2007 г., в Публикации 103 МКРЗ [5]. Цитируем: «Зона контроля — это та зона, внутри которой вводятся или могут быть введены специальные меры защиты и безопасности для контролирования нормального облучения или для предотвращения распространения загрязнения в процессе нормальной эксплуатации. Зона наблюдения — это зона, внутри которой условия работы находятся под наблюдением, однако специальные меры защиты и безопасности обычно не требуются» (см. п. 5.4.1 Публикации 103 МКРЗ [5]). Тот же подход развит и конкретизирован в рекомендациях МАГАТЭ — см. п. 5-17 — 5.31 раздела «Классификация зон» руководства по безопасности [9].

Аналогичным образом, при оценке законности применения Списков № 1 и № 2 чиновниками предъявляется требование постоянной занятости персонала на работах с источниками ионизирующего излучения в течение полного рабочего дня (не менее 80 % рабочего времени) [10], что научно никак не обосновано. Ясно, что понятие постоянной занятости требует здесь дополнительных разъяснений по существу, поскольку вследствие большого разнообразия радиологических процедур трудно и даже невозможно оценить однозначным образом уровень постоянства занятости и даже собственно самой занятости работниками с источником. Однако эта трудность может быть успешно преодолена, если выполнение должностных обязанностей связывать не с рабочим временем, а с работой в зонах контроля и (или) наблюдения.

Преодоление сложившейся ситуации однозначно зависит только от консолидации и организационной инициативы всего радиологического сообщества России по данной проблеме. Сначала надо добиться того, чтобы при разработке очередной версии НРБ и других нормативных документов по радиационной

безопасности с меньшим юридическим статусом, классификация персонала по любым критериям была бы исключена из них вообще в соответствии с международными рекомендациями МКРЗ и МАГАТЭ. В этих документах должна быть принципиально регламентирована классификация только места работы по зонам контроля и наблюдения. Далее на этой основе уже можно будет инициировать переработку соответствующего пенсионного законодательства в области пенсионного обеспечения на базе концепции именно зонирования, а не классификации персонала.

В рамках концепции зонирования мест профессионального облучения предлагаются следующие подходы к назначению льгот для персонала, в том числе и льготной пенсии:

1. Считать зоной контроля все без исключения помещения данного радиологического подразделения.
2. Считать зоной наблюдения все смежные помещения с зоной контроля, в том числе расположенные на смежных этажах.
3. Если работник выполняет все свои должностные обязанности в зоне контроля, то он автоматически попадает под действие Списка № 1.
4. Если работник выполняет все свои должностные обязанности в зоне наблюдения или только часть своих должностных обязанностей в зоне контроля, то он попадает под действие Списка № 2.

Авторы статьи будут благодарны за замечания и предложения по рассмотренной проблеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ от 09.01.96.
2. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» 95 № 170-ФЗ от 21.11.95.
3. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ. МУ 2.6.1.2117-06.
4. Списки № 1 и № 2 и другие списки производств, работ, профессий, должностей и показателей, дающих право на льготное пенсионное обеспечение и пенсию за выслугу лет. — М.: Минтруда РФ, 1999.
5. МКРЗ Труды МКРЗ. Публикация 103 МКРЗ. Пер. с англ. — М., 2009.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) СП 2.6.1.25-10.
8. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите. Публикация 60. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1994.
9. Радиационная защита при профессиональном облучении. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № RS-G-1.1, 1999.
10. В.Г. Белякин Льготное пенсионное обеспечение и пенсия за выслугу лет. — М., 1998.

Поступила: 19.04.2013

Принята к публикации: 23.05.2013

А.А. Удалова¹, С.А. Гераськин¹, Р.М. Алексахин¹, С.М. Киселев²
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

A.A. Oudalova¹, S.A. Geras'kin¹, R.M. Alexakhin¹, S.M. Kiselev²
Current Approach to Environment Radiation Impact Assessment

РЕФЕРАТ

1. Введение
2. Антропоцентрический и экоцентрический подходы к оценке радиационного воздействия
3. Концепция референсных животных и растений
4. Показатели, характеризующие радиационное воздействие на биоту
5. Допустимые уровни облучения биоты
6. Методики оценки радиационного риска для природной среды
7. Заключение

Ключевые слова: радионуклиды, биота, антропоцентрический и экоцентрический подходы, референсные виды, допустимые уровни облучения, риск

CONTENTS

1. Introduction
2. Anthropocentric and ecocentric approaches to radiation impact assessment
3. Concept of reference animals and plants
4. Criteria of radiation impact on biota
5. No-effect exposure levels for biota
6. Approaches for the environment radiation risk assessment
7. Conclusion

Key words: radionuclides, biota, anthropocentric and ecocentric approaches, reference species, no-effect radiation levels, risk

1. Введение

Охрана природы и сохранение среды обитания человека рассматриваются в числе глобальных проблем современности, поэтому разработка принципов и методов оценки состояния биоценозов, контроля и ограничения негативного воздействия на представителей флоры и фауны, поддержание основных параметров стабильного развития природных и искусственных экосистем в условиях техногенеза являются важными научными и практическими задачами. Деятельность человека приводит к поступлению в окружающую среду разнообразных стрессоров, обладающих мутагенными, канцерогенными и токсическими свойствами, воздействию которых подвергается все живое.

В ряду приоритетных техногенных стрессоров особое место занимают ионизирующие излучения (ИИ), повышенное внимание к биологическим эффектам которых связано с растущим использованием источников ИИ в промышленности, сельском хозяйстве и медицине, а также интенсивным развитием атомной энергетики. Особое внимание при этом уделяется изучению закономерностей поведения радионуклидов в биоценозах и ведущих к человеку пищевых цепочках, а также особенностям действия

ионизирующих излучений на организм человека. Вместе с тем, в последние годы возрастает понимание того, что система радиационной защиты должна обеспечивать адекватный уровень безопасности не только для человека, но и для окружающей среды.

Вопросы биологического действия ИИ на биоту неоднократно рассматривались международными организациями [1, 2]. В последнее десятилетие выпущен ряд программных документов, имеющих непосредственное отношение к проблемам защиты окружающей среды от действия ионизирующей радиации. Под эгидой МКРЗ была развернута «Рамочная программа разработки системы оценки радиационных эффектов у представителей флоры и фауны» [4]. В базовые рекомендации МКРЗ (Публикация 103 [3]), определяющие новую систему радиационной защиты окружающей среды, а в 2009 г. вышла Публикация 108 «Защита окружающей среды: концепция и принципы использования референсных животных и растений» [5]. В настоящей работе предпринята попытка обобщить и проанализировать последние тенденции в развитии системы защиты окружающей среды от действия ионизирующих излучений.

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии РАСХН, Обнинск.
E-mail: oudalova@mail.ru

² Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва

¹ All-Russian Institute of Agricultural Radiology and Agroecology RAAS, Obninsk, Russia. E-mail: oudalova@mail.ru

² Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia

2. Антропоцентрический и экоцентрический подходы к оценке радиационного воздействия

В современном обществе нарастает понимание необходимости гармонизировать систему взаимоотношений человека и окружающей среды, что предполагает ограничение антропогенного воздействия на компоненты природных и аграрных экосистем до уровня, при котором обеспечивается их устойчивое функционирование. В то же время система контроля техногенного воздействия на человека и окружающую среду в настоящее время базируется на разных подходах. Защита человека от влияния техногенных факторов базируется на санитарно-гигиеническом принципе, направленном на ограничение поступления загрязняющих веществ в организм и воздействия токсических агентов до пределов, не представляющих опасности для его здоровья и генофонда, и осуществляется путем введения государственных стандартов, гигиенических нормативов, санитарных норм и правил их соблюдения. В отношении окружающей среды начиная с 60-х годов прошлого столетия применяется постулат, согласно которому защита биоты от действия ИИ в конкретной радиологической ситуации гарантирована, если безопасность человека обеспечена стандартами радиационной защиты. Указанный принцип был впервые сформулирован Международной комиссией по радиационной защите в Публикации 26 [6] и подтвержден в Публикации 60 [7].

Антропоцентрический постулат основан на нескольких базовых принципах [8, 9]. Во-первых, человек является одним из наименее радиостойчивых организмов в биосфере; по радиорезистентности к нему близки млекопитающие, являющиеся важным компонентом многих экосистем. Радиостойчивость большинства видов животных выше, чем человека, многих растений — в 10 и более раз, низших организмов — в тысячи раз. Поэтому можно утверждать, что при достаточной защите человека безопасность большинства видов биоты будет также обеспечена. Во-вторых, радиационными регламентами допустимого облучения человека предусмотрены достаточно большие коэффициенты запаса. Так, отношение полудельной дозы для человека ($3,5 \text{ Зв}$ [10]) и основного предела дозы для населения (1 мЗв/год за период жизни 70 лет, то есть 70 мЗв [11]) равно 50, т.е. коэффициент запаса для наиболее радиочувствительного вида составляет почти два порядка, что также повышает гарантию безопасности биоты. Наконец, охрана здоровья человека имеет один из наиболее высоких приоритетов.

Антропоцентрический подход сыграл положительную роль в формировании политики обеспечения радиационной безопасности природы и вошел

в законодательные базы и документы многих стран, гарантируя защиту окружающей среды при развитии ядерной энергетики. В научном сообществе, однако, активно обсуждается достаточность сформулированного МКРЗ принципа в отношении охраны биоты [8, 9, 12]. За последние 10–20 лет опубликовано немало работ, в которых антропоцентрический принцип обеспечения радиационной безопасности окружающей среды ставится под сомнение. В обоснование этого подводится определенная концептуальная и логическая база, делаются количественные и сравнительные оценки дозовых нагрузок на человека и на наиболее облучаемые, уязвимые звенья живой природы. Так, существуют ситуации, когда в окружающей среде человек отсутствует, а биота подвергается воздействию ИИ (например, в местах захоронения радиоактивных отходов в глубинах Мирового океана и геологических формациях). На территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения (головная часть ВУРСа, 30-км зона ЧАЭС, 20-км зона вокруг АЭС Фукусима) превышение допустимых уровней облучения человека предотвращается с помощью специально разработанных мероприятий (ограничения доступности загрязненных территорий, использование привозных продуктов, контрмеры по снижению содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, наконец, отселение населения), но биота подвергается радиационному воздействию без ограничений.

Антропоцентрический подход не учитывает, что в одной и той же радиоэкологической ситуации дозы облучения человека и некоторых видов биоты могут отличаться весьма существенно (неэквидозность воздействия). Наиболее заметно различия в дозах облучения человека и других видов проявляются в условиях радиационных аварий и на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности предприятий ядерного цикла. Так, сформировавшиеся в условиях аварии на Южном Урале дозы облучения некоторых животных и растений на единицу плотности радиоактивного загрязнения превышали дозу на человека в 10–300 раз [13]. Существуют и другие примеры существенного различия дозовых нагрузок на человека и представителей биоты, находившихся в одной и той же радиоэкологической ситуации в одно и то же время [14, 15]. Особенно значительны различия между дозами облучения человека и некоторых видов биоты (почвенная мезофауна, мышевидные грызуны, корневые системы растений) при высоких уровнях загрязнения α -излучающими радионуклидами [16]. С учетом близких показателей радиочувствительности человека и ряда эдификаторных, определяющих функционирование и устойчивость экосистем видов (хвойные древесные породы, многие млекопитаю-

щие), становится понятным, что такое соотношение доз облучения требует особого внимания к радиационной защите растений, животных и их сообществ.

Таким образом, хотя в настоящее время официально признанным является антропоцентрический подход, в стратегии обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды происходит усиление экоцентрических принципов. Это связано с осознанием того, что выживание и качество жизни человека зависят от сохранения среды его обитания. В рамках экоцентрического подхода подчеркивается необходимость обеспечения радиационной безопасности собственно природы (живых организмов). Кратко экоцентрическую стратегию формулирую следующим образом: «человек может быть здоров только в здоровой окружающей среде». Все более широкое признание находит также принцип поддержания устойчивого развития биосферы, сформулированный в Декларации об охране природы (Рио-де-Жанейро); под этим подразумевается сохранение основных параметров стабильного развития природных и искусственных экосистем в условиях техногенеза. При экологическом подходе человек рассматривается в системе радиационной безопасности как один из биологических видов, являющийся неотъемлемым элементом биосферы. Поэтому экоцентрический подход является более общим, включающим в себя антропоцентрический как составную часть.

3. Концепция референсных животных и растений

Процесс критического анализа антропоцентрического подхода и начало разработки экоцентрического подхода к радиационной защите окружающей среды были инициированы МКРЗ. В Публикации 91 [4], специально посвященной вопросам защиты природы от действия ИИ, МКРЗ указала, что при разработке стратегии радиационной безопасности окружающей среды желательно обеспечить прямые доказательства защищенности живых организмов, а не только человека. В Публикации 103 [3] комиссия не отказывается от постулата «защищен человек — защищена природа», но уточняет, что он справедлив в ситуациях планируемого облучения, и признает, что действующая система радиационной защиты не охватывает всех ситуаций облучения природы и не в полной мере соответствует требованиям управления и запросам общества. Принцип необходимости подтверждения, а не только предположения, что окружающая среда защищена от воздействия ИИ, отражен в основных стандартах безопасности МАГАТЭ [17].

Для обеспечения научной базы радиационной защиты окружающей среды во всех возможных ситуациях облучения МКРЗ предлагает использовать кон-

цепцию референсных животных и растений. Согласно Публикации 103 МКРЗ [3], референсное животное или растение — это гипотетический объект, имеющий базовые характеристики животного или растения определенного типа, описываемого согласно таксономическому уровню «семейство», с определенными анатомическими, физиологическими и поведенческими характеристиками, используемыми в целях перехода от облучения к дозе, а от дозы — к эффекту для данного типа живых организмов. В этом контексте целью при обеспечении защиты биоты является «предотвращение или снижение частоты возникновения вредных радиационных эффектов до уровня, на котором они должны оказывать пренебрежимо малое влияние на поддержание биологического разнообразия, на сохранение видов, на состояние и здоровье природных экосистем, сообществ и популяций» [3].

Для обоснования репрезентативного набора критических видов и показателей оценки радиационных эффектов была создана рабочая группа МКРЗ, результатом работы которой стала Публикация 108 «Защита окружающей среды: концепция и принципы использования референсных животных и растений» [5]. МКРЗ выделяет 12 референсных видов биоты, типичных для разных критических экосистем: дождевой червь — почва; утка — устье рек; камбала, краб и бурая водоросль — прибрежные морские воды; форель — реки и озера; лягушка — болота; олень, сосна, травянистое растение и пчела — большая часть наземных экосистем умеренного климата, и крыса — как обитающая повсеместно в наземных экосистемах. В табл. 1 приведены некоторые результаты экспертной оценки соответствия этих видов требованиям, предъявляемым к референсным животным и растениям: экологическое значение в экосистеме, распространенность, наличие необходимых радиобиологических данных, радиочувствительность, хозяйственная ценность, наличие адекватных дозиметрических моделей и возможность корректной оценки доз на критические органы в разных радиоэкологических ситуациях.

В системе радиационной защиты биоты набору референсных биологических видов отводится та же роль, что и «референсному человеку» в системе радиационной защиты человека. Каждый референсный вид имеет свою геометрию, закономерности ее изменения в онтогенезе и рассматривается как первое приближение при оценке радиационного риска для организмов со сходным жизненным циклом и характеристиками воздействия [5, 18, 19]. Для каждого референсного вида разработаны соответствующие дозиметрические модели и создается база биологических и экологических данных, содержащая сведения об условиях обитания, численности, продолжительности жизни, размере потомства и т.д. Основные ограничения данного

Таблица 1

Референсные животные и растения [5]

	Использование при оценке токсичности	Хозяйственная ценность	Данные по миграции	Данные по эффектам радиации	Возможность для дальнейшего изучения
Водные экосистемы					
Утка		+	+	+	+++
Лягушка		+	+	+	++
Форель	+++	+++	+	+++	+++
Камбала	+	+++	+++	++	++
Краб	+	+++	+++	+	++
Водоросль		+	+++	+	++
Наземные экосистемы					
Олень		++	+	+	+
Крыса	+++		++	+++	+++
Пчела	+	++	++	+	+++
Дождевой червь	+++		++	+	+++
Сосна		+++	++	+++	+++
Злак	+	+++	++	+++	+++

подхода связаны с трудностями экстраполяции полученных для референсных видов результатов на другие виды и экологические условия. Отмечается, что набор референсных видов не должен быть избыточным, поскольку оценка радиационного воздействия на каждый из них является достаточно сложной задачей, и необоснованное увеличение числа таких видов может привести к чрезмерному усложнению практики радиационной защиты окружающей среды.

Предложенный МКРЗ набор референсных организмов является весьма дискуссионным. С одной стороны, он отвечает основным требованиям к референсным видам, сформулированным МКРЗ, с другой — его применение в конкретных радиоэкологических условиях не всегда в полной мере отражает особенности функционирования природных экосистем. Далее, в некоторых ситуациях представляется, что в качестве референсного более уместно использовать другого представителя семейства. Так, для водных биогеоценозов природным депо радионуклидов являются донные отложения. Поэтому в число референсных видов должны входить организмы, для которых донные отложения являются средой обитания, либо организмы, для которых характерен длительный контакт с донными отложениями. В этой связи вполне обоснованно в число референсных животных включены ракообразные, придонные виды рыб, амфибии. Хорошими кандидатами также выглядят моллюски (концентраторы радионуклидов) и дафнии (классический тест-объект). Хорошо известно, что на более высоких уровнях трофических цепочек происходит накопление радионуклидов, поэтому в число референсных организмов включены хищные рыбы как одни из наиболее радиочувствительных предста-

вителей группы консументов в гидробиоценозах, а также водоплавающие птицы. Кроме того, в списке референсных видов отсутствуют водные млекопитающие, характеризующиеся высокой радиочувствительностью.

В наземных экосистемах природным депо радионуклидов является почва. Поэтому среди сухопутных видов биоты в число референсных организмов следует в первую очередь относить обитателей верхних горизонтов почвы — мышевидных грызунов и почвенную мезофауну. Дождевой червь широко используется для оценки состояния почв в случае загрязнения как химическими токсикантами, так и радионуклидами, в то время как крыса скорее относится к числу объектов лабораторных исследований в области радиобиологии. Отметим, что в большинстве известных ситуаций, связанных с аварийным выбросом радионуклидов, наиболее существенные последствия радиационного воздействия были отмечены для мышевидных грызунов. Основания для включения пчелы в число референсных организмов также не выглядят достаточно убедительными. Растения, являясь важным компонентом любого биоценоза, характеризуются высокой задерживающей способностью по отношению к радиоактивным выпадениям. Известна также высокая радиочувствительность хвойных растений. Это обусловило включение в число референсных организмов сосны и дикого злака. Присущая млекопитающим высокая радиочувствительность, большое хозяйственное значение, а также наличие необходимой радиобиологической информации и адекватных дозиметрических моделей обусловило включение крупного млекопитающего (олень) в число референсных организмов.

Несколько отличающиеся наборы реперных видов были предложены другими исследовательскими группами и организациями. Так, в рамках международного проекта Европейской комиссии ERICA [20] проведено разделение водных и наземных экосистем и разработан более детальный перечень референсных видов: амфибии, бентосные виды рыбы, птицы, двусторчатые моллюски, ракообразные, гастроподы, личинки насекомых, млекопитающие, пелагические виды рыбы, фитопланктон, высшие водные растения, зоопланктон — для водных экосистем; амфибии, птицы, яйца птиц, детритофаги, насекомые, гастроподы, травянистые растения, лишайники, млекопитающие, рептилии, кустарниковые растения, почвенные беспозвоночные, деревья (сосна) — для наземных экосистем. Департаментом энергетики США предложено рассматривать 4 группы организмов: водные растения и животные и сухопутные растения и животные; каждой группе также поставлен в соответствие свой набор типичных биологических видов [21].

Предложенный МКРЗ набор референсных животных и растений не является единственно возможным и может быть трансформирован в зависимости от конкретных природно-климатических условий или региональных особенностей. При оценке опасности радиационного воздействия в конкретной радиоэкологической ситуации необходимо использовать специфичные для каждого региона параметры поведения референсных видов, особенности их питания и размножения.

4. Показатели, характеризующие радиационное воздействие на биоту

Одним из ключевых вопросов является выбор и обоснование показателей для оценки радиационного воздействия на биоту. Важнейшим принципом радиационной безопасности человека является ориентация на защиту каждого конкретного индивидуума и, как следствие, требования исключения возникновения детерминированных эффектов и сведение к минимуму проявления стохастических эффектов (канцерогенные и генетические эффекты). Формой реального существования растений и животных в природе является популяция, поэтому при переходе от антропоцентрических к экоцентрическим принципам нормирования происходит не только изменение показателей, по которым оно осуществляется, но и смена самого объекта, к которому эти показатели применяются. В его роли выступают не индивидуумы, но системы надорганизменного уровня — популяции, экосистемы, биоценозы. Поэтому при оценке радиационного воздействия на биоту существенное значение придается таким показателям как снижение продолжительности жизни, повышенная заболеваемость, угнетение

репродуктивной функции, видовое разнообразие в подвергшихся воздействию экосистемах, частота цитогенетических и наследуемых генетических эффектов [4]. Все указанные эффекты регистрируются на индивидуальном уровне, но в совокупности характеризуют воздействие на популяцию. Перечисленные критерии используются и при оценке влияния факторов нерадиационной природы, что создает основу для разработки единой системы ограничения вредного воздействия техногенных факторов радиационной и нерадиационной природы на биоту.

Для повышения надежности оценок и улучшения интерпретируемости результатов МКРЗ предлагает уделять основное внимание следующим показателям [3]: преждевременная гибель, угнетение репродуктивной функции, заболеваемость, частота цитогенетических эффектов. Именно эти четыре класса эффектов (*umbrella endpoints*) использовались при классификации наблюдавшихся в экспериментальных исследованиях радиобиологических эффектов в ходе обобщения и анализа существующих данных о биологическом действии ИИ на биоту [22, 23]. Среди названных показателей угнетение репродуктивной функции и повышение частоты цитогенетических повреждений относятся к наиболее чувствительным [24]. Хотя значительная часть индуцированных ИИ генетических нарушений эффективно элиминируется из популяции в ходе работы восстановительных систем на разных уровнях биологической организации (энзиматическая репарация повреждений и апоптоз, репопуляция клеточного пула, регенерация органов, гибель ослабленных и несущих повышенный генетический груз особей), накопление генетических нарушений может вести к нарушению систем воспроизводства и, как следствие, снижению рождаемости, что ведет к уменьшению численности популяции, снижению способности вида противостоять конкурентному давлению других видов и колебаниям природных условий. Тем не менее, в качестве основного критерия при оценке безопасных уровней облучения биоты, по-видимому, следует рассматривать угнетение репродуктивной функции как интегральный показатель радиационного воздействия, изменение которого ведет к неприемлемым трансформациям на популяционном уровне, вплоть до исчезновения подвергшегося облучению вида.

Таким образом, цель радиационной защиты биоты можно сформулировать как предотвращение или снижение частоты эффектов, ведущих к преждевременной гибели либо снижению репродуктивного успеха у биологических видов до уровня, при котором обеспечивается сохранение видов и поддержание биоразнообразия.

5. Допустимые уровни облучения биоты

Рядом международных (МКРЗ, МАГАТЭ, НКДАР ООН) и национальных (Национальная комиссия по радиационной защите и измерениям – НКРЗ США, Канадская комиссия по ядерной безопасности – CNSC) организаций были предложены носящие рекомендательный характер пределы допустимого облучения живых организмов (табл. 2). Сопоставление этих пределов проводить затруднительно, так как при их установлении использовались разные подходы и принципы. Например, рекомендованный в рамках проекта Европейской комиссии ERICA предел 10 мкГр/час (87,6 мГр/год) [20] предназначен для защиты всех групп организмов, составляющих обобщенную наземную экосистему, в то время как Комиссия по ядерной безопасности Канады [25] подходит к установлению безопасных пределов более дифференцированно, например, разделяя пресноводные водоросли и макрофиты. В более поздних документах при обосновании подходов к радиационной защите биоты подчеркивается популяционный и экосистемный подход.

С другой стороны, рекомендации МАГАТЭ и НКДАР ООН [1, 2] в основном ориентированы на наиболее радиочувствительные организмы, в каче-

стве которых рассматриваются в первую очередь млекопитающие. В то время как МАГАТЭ считает, что растения менее чувствительны к ИИ по сравнению с наземными животными, рекомендованные МКРЗ [3] критические уровни для млекопитающих и хвойных деревьев совпадают, а канадская комиссия [25] в качестве критической группы называет пресноводных рыб. Тем не менее, анализируя рекомендованные безопасные пределы, можно сделать общий вывод, что минимальные допустимые уровни хронического облучения биоты, предложенные разными организациями, сопоставимы – от 4 до 40 мкГр/час и превышают допустимое дозовое воздействие на человека (1 мЗв/год) в 40–400 раз.

6. Методики оценки радиационного риска для природной среды

Характерной чертой существующих методик оценки риска воздействия ИИ для природной среды является их многоуровневость [26]. Как правило, многоуровневая структура радиоэкологического мониторинга включает скрининговый, базовый и исследовательский уровни и позволяет оптимизировать

Таблица 2

Уровни облучения биоты, рекомендуемые для ограничения радиационного воздействия [27]

Первоисточник	Безопасные уровни облучения биоты, мкГр/час					
	МКРЗ 91 [4]	МАГАТЭ [1]	НКДАР ООН [2]	CNSC [25]	ERICA [20]	МКРЗ 108 [5]
НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ						
Растения		400	400	100	10	
Сосна						4–40
Злак						40–400
Животные		40	40		10	
Беспозвоночные				200		
Пчела						400–4000
Дождевой червь						400–4000
Утка						4–40
Млекопитающие				100		
Олень						4–40
Крыса						4–40
ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ						
Пресноводные	400	400	400		10	
Водоросль				100		
Макрофиты				100		
Бентосные беспозвоночные				200		
Лягушка						4–40
Рыба				20		
Форель						40–400
Морские	400		400		10	
Краб						400–4000
Камбала						40–400
Водоросль						40–400
Глубоководные организмы		1000			10	

Примечание:

Курсивом отмечены референсные животные и растения, рекомендованные в публикации МКРЗ 108 [5]

по времени, стоимости и доступности процесс получения данных о радиационной обстановке.

Так, согласно разработанному Департаментом энергетики США [21] руководству для оценки влияния подведомственных Департаменту радиационно-опасных предприятий на окружающую среду, оценка радиоэкологических рисков для природной среды проводится на нескольких уровнях — от первичного скрининга до детального анализа ситуации. По мере перехода от одного уровня к другому возрастают глубина анализа, требования к входным данным, точность и сайт-специфичность результатов. Оценка радиационного воздействия на этапе первичного скрининга является консервативной и базируется на величине *SOF*:

$$SOF = \sum_j \frac{C_j}{BCG_j}, \quad (1)$$

представляющей собой сумму отношений максимальных измеренных удельных активностей C_j каждого из i радионуклидов в каждом из j природных компартментов (вода, донные отложения, почва) к соответствующим предельным значениям BCG_{ij} (Biota Concentration Guide). Величины BCG являются производными от «предельных доз», принятых Департаментом энергетики США на основе анализа существующих данных о последствиях для биоты острого и хронического радиационного воздействия. «Предельные дозы» согласованы с рекомендациями МАГАТЭ [1] и НКДАР ООН [2] (табл. 2) и установлены для четырех групп организмов — 10 мГр/сут (4 Гр/год) для водных животных и наземных растений и 1 мГр/сут (0,4 Гр/год) для сухопутных и прибрежных животных; в качестве критического показателя рассматривается репродуктивная функция. Применение «предельных доз» и основанных на них производных величин направлено на скрининг состояния окружающей среды; их превышение не требует регулирующих или корректирующих действий, а скорее указывает на желательность проведения дополнительных исследований.

Если $SOF > 1$, переходят к следующему этапу оценки — более детальным исследованиям с постепенным усложнением используемой для оценки уровней радиационного воздействия модели, приближением ее параметров к реальной ситуации на исследуемой территории и, соответственно, снижением консерватизма оценок. Этот этап состоит из нескольких подэтапов. В рамках сайт-специфического скрининга для расчета удельных активностей радионуклидов в разных средах применяются не максимальные измеренные (C_j), а наиболее реальные (средние) значения и уточненные коэффициенты перехода. При проведении сайт-специфического анализа используют

кинетические модели, которые позволяют с большей точностью учесть многочисленные параметры, оказывающие влияние на дозу внутреннего облучения (масса тела, скорость метаболических процессов, продолжительность жизни и др.). На каждом из подэтапов проводится сравнение измеренных концентраций радионуклидов с уточненными для данного подэтапа предельными значениями BCG , и в случае их невыполнения оценка считается законченной. Расчет реальных дозовых нагрузок на представителей биоты проводится в последнюю очередь в случае, если на предыдущих этапах не удалось продемонстрировать достаточную защищенность биоты от негативных последствий радиационного воздействия. Если показана необходимость проведения такой сайт-специфической оценки доз на живые организмы, осуществляется полномасштабное обследование территории, включающее отбор и анализ образцов флоры и фауны.

Одной из слабых сторон используемого Департаментом энергетики США подхода является отсутствие анализа возможных статистических неопределенностей оцениваемых величин. Отсюда вытекает следующее важное замечание: методика не дает ответа на вопрос насколько существенно должно отличаться значение *SOF* от единицы, чтобы о соблюдении или нарушении принципов защищенности биоты можно было бы говорить с уверенностью [28].

Канадская комиссия по ядерной безопасности разработала собственное руководство по оценке воздействия радионуклидов на природную среду вблизи предприятий ядерно-топливного цикла [29, 30]. В качестве критических CNSC рекомендует использовать (табл. 2) уровни хронического радиационного воздействия, которые не приводят к неблагоприятным эффектам у представителей биоты (*ENEV* — expected no effect value): 2 Гр/год для беспозвоночных, 1 Гр/год для млекопитающих, водорослей, высших водных и наземных растений и 0,2 Гр/год для рыб [25]. При установлении *ENEV* использованы данные о выживаемости наиболее радиочувствительных видов. Для того, чтобы учесть роль излучений разного вида в индукции биологических эффектов, CNSC рекомендует применять весовые множители, равные 5–10, 1–3 и 1 для α -, β - и γ -излучений соответственно [31].

Под эгидой Европейской комиссии также ведется разработка подходов и моделей для оценки радиационного воздействия на окружающую среду. Результатом выполнения ряда последовательных проектов (FASSET, EPIC, ERICA, PROTECT) стал «Интегрированный подход к оценке и управлению рисками для природной среды, возникающими при воздействии ионизирующей радиации» [32], сопутствующее программное обеспечение ERICA Tool [33], технические

указания по применению метода [34], базы данных по параметрам миграции естественных и искусственных радионуклидов [35, 36], дозовым коэффициентам [37] и радиационным эффектам у представителей биоты [22], а также рекомендации по принятию решений [38].

Основной целью «Интегрированного подхода» является количественная оценка риска негативных последствий для природной среды при действии ионизирующей радиации, которая основана на оценке дозовой нагрузки на выделенных представителей биоты – референсные виды флоры и фауны [33], – на основе данных дозиметрии и миграции радионуклидов в окружающей среде и сравнении рассчитанной дозовой нагрузки с критическим уровнем воздействия.

В качестве критического уровня хронического радиационного воздействия на природные экосистемы (*PNEDR* – predicted no-effect dose rate) в рамках «Интегрированного подхода» рекомендовалось использовать 10 мкГр/час; эта величина была обоснована в ходе анализа распределения видов по чувствительности на основе данных о радиационно-индуцированных биологических эффектах у представителей биоты, собранных в базе данных FRED [21] (позднее преобразованной в базу данных FREDERICA). Предполагается, что такой предел дозового воздействия может быть принят в качестве универсального для обитателей наземных, морских и пресноводных экосистем, и его непревышение гарантирует пренебрежимо малый риск негативных последствий для живой природы.

«Интегрированный подход» также является многоуровневым и предполагает три этапа проведения оценки. На первом осуществляется первичный скрининг данных, в ходе которого удельные активности радионуклидов в окружающей среде (воде, донных отложениях, почве и воздухе) сравнивают с заранее установленными предельными уровнями *EMCL* (environmental media concentration limit). *EMCL* для каждого радионуклида и каждого компартмента окружающей среды рассчитывают таким образом, чтобы обеспечить непревышение критического уровня радиационного воздействия для биоты (10 мкГр/час) для испытывающего наиболее высокие дозовые нагрузки референсного организма в конкретной экосистеме. При этом для каждого радионуклида автоматически выбирается свой «критический» вид из набора референсных видов флоры и фауны. Таким образом, на первом этапе оценки пользователь не может самостоятельно определить «критический» организм для данной ситуации радиационного воздействия. Критерием радиационной безопасности биоты на первом этапе «Интегрированного подхода» является сумма

парциальных рисков (*RQ*) превышения *EMCL* для каждого из радионуклидов, которая вычисляется по аналогичной (1) формуле [33]:

$$RQ = \sum_i \frac{M_i}{EMCL_i}. \quad (2)$$

Оценка в рамках первого этапа высококонсервативна; для того, чтобы обеспечить большие коэффициенты запаса, используются данные о максимальных измеренных концентрациях радионуклидов в среде M_i . Если $RQ < 1$, вероятность превышения критического уровня воздействия для какого-либо организма является очень низкой, т.е. риск неблагоприятных последствий для природной среды может считаться пренебрежимо малым.

В противном случае ($RQ \geq 1$) переходят ко второму этапу оценки: расчет доз внутреннего и внешнего облучения с учетом весовых множителей (10 для α -излучения, 3 для низкоэнергетического β -излучения и 1 для γ - и высокоэнергетического β -излучений) для каждого из отобранных референсных видов флоры и фауны. Второй этап характеризуется большей гибкостью, т.к. пользователь может корректировать ряд используемых при расчете параметров (коэффициенты распределения, физико-химические характеристики природных сред, время пребывания организмов в оцениваемом компартменте/экосистеме, весовые множители). Кроме того, возможно расширение по желанию пользователя используемых в ERICA Tool геометрий референсных организмов (т.е. введение нового виртуального «референсного организма») и набора радионуклидов. Для обеспечения большей реалистичности оценки, по аналогии с разработанным в США «Градуированным методом», при расчете дозовых нагрузок используются средние значения активностей радионуклидов в природных средах. Отдельный блок расчетов посвящен оценке неопределенностей оценок мощностей доз облучения и значений *RQ*, который базируется на определении 95%- и 99%-ных процентилей в предположении экспоненциального распределения значений мощности дозы [33], что отражает большую степень проработки методологии оценки радиационного воздействия по сравнению с подходом, используемым Департаментом энергетики США [21].

Критерием принятия решений о продолжении или завершении оценки воздействия на экосистему является сравнение новых значений *RQ* с единицей. Однако, кроме ранее использованных Департаментом энергетики США [21] и Канадской комиссией по ядерной безопасности [30] опций «риск пренебрежимо мал, завершить оценку» и «риск для биоты может оказаться существенным, необходимо перейти к следующему этапу оценки», если *RQ* близок к единице,

рекомендуется провести дополнительные исследования, например, сравнить рассчитанные значения мощностей доз с уровнями естественной радиоактивности с использованием предложенной в [39] концепции «уровней обеспокоенности». Кроме того, возможно использование вложенной базы данных, содержащей результаты экспериментальных работ по изучению зависимостей «доза — биологический эффект», сгруппированные для каждого референсного вида, для сопоставления рассчитанных мощностей дозы с уровнями воздействия, при которых наблюдались разные типы эффектов в лабораторных или полевых исследованиях.

На третьем этапе сохранены все возможности модификации входных данных, констант и параметров моделей, которые предоставлены на втором этапе. В отличие от реализованного на первых двух этапах детерминированного способа представления данных, на третьем этапе используется вероятностный метод, т.е. возможно задание статистических распределений для любых данных и параметров (концентраций радионуклидов, коэффициентов перехода, дозовых коэффициентов, весовых множителей и т.д.). Для расчетов широко применяется метод Монте-Карло, особенно в тех случаях, когда решение задачи в аналитическом виде невозможно. ERICA Tool позволяет исследовать неопределенности оценок и выделить факторы, вносящие наибольший вклад в вариабельность расчетных уровней радиационного воздействия. В результате осуществления третьего этапа может быть сформулирована и охарактеризована существующая на изучаемой территории радиоэкологическая проблема. Полученные при этом данные могут быть использованы соответствующими организациями для проведения необходимых мероприятий.

Таким образом, «Интегрированный подход» является более развитой и полной методологией оценки воздействия радиации на живую природу по сравнению с более ранними методами и моделями. Его апробация на примере реальных радиоэкологических сценариев — обитающих в 30-км зоне ЧАЭС мышевидных грызунов [35], фауны и флоры прибрежных песчаных дюн вблизи завода по переработке ядерного топлива в Селафилде (Англия) [40], — продемонстрировала эффективность первых двух этапов разработанной методики. Детальный анализ, однако, показал, что предсказанные с помощью ERICA Tool удельные активности радионуклидов в теле животных (в первую очередь, рептилий) не всегда находятся в соответствии с измеренными значениями, даже с учетом оцененных вероятностным методом неопределенностей [40]. Прогнозируемые значения индивидуальных доз внешнего облучения животных также существенно отличались от измеренных с помощью

термолюминесцентных дозиметров [35]. Недостаток знаний в определенных областях радиоэкологии и радиобиологии, большое разнообразие радиоэкологических условий в реальных экосистемах, недостаточные данные для установления параметров переноса радионуклидов между природными средами и живыми организмами (например, вариабельность коэффициентов перехода ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в организм млекопитающих составляет 3–4 порядка [35]), неомогенность распределения радионуклидов и дозовых полей, необходимость широко использовать экстраполяции и др. — вот причины, которые лежат в основе несогласованностей между оцененными и реально наблюдаемыми величинами.

В целом, решение любой комплексной экологической проблемы отягощено наличием значительных неопределенностей. На всех этапах, от формулирования проблемы до оценки рисков, результаты существенным образом зависят от выбранной модели, сценария развития ситуации, принятых допущений и экстраполяций. Неопределенность и вариабельность являются неотъемлемой частью любой живой, комплексной системы, и экосистемы в том числе. Реализованный в рассмотренных методологиях оценки радиационного воздействия на природную среду многоуровневый подход обеспечивает возможность получения как консервативной оценки, базирующейся на обобщенных данных и «наихудшем» сценарии развития ситуации, так и позволяет получать вероятностные оценки с возрастающей степенью реалистичности и сопутствующим увеличением вариабельности результатов. Очевидно, применение моделей, подобных реализованным в ERICA Tool, может служить удобным и достаточно простым в использовании инструментом первичного скрининга экологической ситуации. Для корректной оценки степени защищенности живой природы в случае нарушения консервативных критериев требуется проведение обширных дополнительных исследований с целью повышения эффективности экологической дозиметрии и установления системы безопасных для биоты уровней радиационного воздействия.

7. Заключение

В настоящее время активно обсуждается новая концепция радиационной защиты окружающей среды и роль антропоцентрического и экоцентрического подходов. Основным принципом при разработке санитарно-гигиенических нормативов является ограничение радиационного воздействия на здоровье человека, в то время как экоцентрический подход акцентирует необходимость обеспечения радиационной безопасности окружающей среды в целом, рас-

смаивая человека как неотъемлемый элемент биосферы.

Разрабатываемая система радиационной защиты окружающей среды на основе экологических критериев базируется на концепции референсных видов флоры и фауны, рассматриваемых как первое приближение при оценке радиационного риска для организмов со сходным жизненным циклом и характеристиками радиационного воздействия. При выборе референсных видов необходимо учитывать особенности формирования доз облучения природных организмов и их роль в поддержании устойчивого функционирования природных экосистем. Радиационное воздействие на биоту характеризуют следующие критерии: снижение продолжительности жизни, заболеваемость, угнетение репродуктивной функции, изменение видового разнообразия в подвергшихся воздействию экосистемах, частота цитогенетических и наследуемых генетических эффектов. В качестве основного показателя при оценке безопасных уровней хронического облучения биоты следует рассматривать угнетение репродуктивной функции как интегральный показатель радиационного воздействия. В настоящее время рекомендованные пределы допустимого облучения живых организмов составляют 4 Гр/год для наземных растений и водных животных, и 0,4 Гр/год для наземных животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IAEA. Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Report Series 332. — Vienna, 1992.
2. UNSCEAR. Effects of ionizing radiation on the environment. Annex to Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. — New York: United Nations, 1996. 86 p.
3. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. // Ann. ICRP, 2007, **37**, No. 2–4, P. 1–332.
4. ICRP Publication 91. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-Human Species. // Ann. ICRP, 2003, **33**, No. 3, P. 201–270.
5. ICRP Publication 108. Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants. // Ann. ICRP, 2009, **38**, No. 4–6, P. 1–242.
6. ICRP Publication 26. The 1977 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. // Ann. ICRP, 1977, **1**, P. 1–53.
7. ICRP Publication 60. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. // Ann. ICRP, 1991, **21**, P. 1–201.
8. Алексахин Р.М., Фесенко С.В. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2004, **44**, № 1, С. 93–103.
9. Казаков С.В., Уткин С.С. Подходы и принципы радиационной защиты водных объектов. Под ред. И.И. Линге. — М.: Наука, 2008, 318 с.
10. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. — М.: Высшая школа, 1988. 424 с.
11. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
12. Казаков С.В., Линге И.И. О гигиеническом и экологическом подходах в радиационной защите. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2004, **44**, № 4, С. 482–492.
13. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. — М.: ИздАт, 2010, 496 с.
14. Романов Г.Н., Спиринов Д.А. Воздействие ионизирующих излучений на живую природу при уровнях, предусмотренных современными нормами радиационной безопасности. // Докл. АН СССР, 1991, **318**, С. 248–251.
15. Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Geras'kin S.A. et al. Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant. // J. Environ. Radioact., 2005, **80**, P. 1–25.
16. Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М. и соавт. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере. — М.: Наука, 1990. 368 с.
17. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards: general safety requirements. — Series No. GSR. Part 3. IAEA, Vienna, 2011.
18. Pentreath R.J. A system for radiological protection of the environment: some initial thoughts and ideas. // J. Radiol. Prot., 1999, **19**, P. 117–128.
19. Pentreath R.J., Woodhead D.S. A system for protecting the environment from ionising radiation: selecting reference fauna and flora, and the possible dose models and environmental geometries that could be applied to them. // Sci. Total Environ., 2001, **277**, P. 33–43.
20. ERICA. Environmental Risk from Ionizing Contaminants: Assessment and Management. Developed under EU 6th Framework Programme. Contract No. FI6R-CT-2004-508847. www.ERICA-project.org. 2003.
21. DOE Standard. A graded approach for evaluation radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. — Washington: US Department of Energy, 2002.
22. Copplestone D., Hingston J., Real A. The development and purpose of the FREDERICA radiation effects database. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1456–1463.

23. Garnier-Laplace J., Della-Vedova C., Gilbin R. et al. First derivation of predicted-no-effect values for freshwater and terrestrial ecosystems exposed to radioactive substances. // Environ. Sci. Technol., 2006, **40**, P. 6498–6505.
24. Geras'kin S.A., Fesenko S.V., Alexakhin R.M. Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident. // Environ. Intern., 2008, **80**, P. 59–74.
25. CEPA. Canadian Environmental Protection Act. Priority substances list assessments report. Releases of radionuclides from nuclear facilities (impact on non-human biota). – Environment Canada, 1999, 130 pp.
26. Сазыкина Т.Г., Крышев И.И. К вопросу об оптимизации радиационного мониторинга окружающей среды на основе методологии анализа риска. // В кн. «Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин». № 13. Под ред. В.И. Мугунова, А.В. Транезникова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2010, С. 33–52.
27. Andersson P., Beaugelin-Seiller K., Beresford N.A. et al. Deliverable 5: Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. Report for the PROTECT Project. EC Contract Number: 036425 (FI6R). – Lancaster: Centre for Ecology & Hydrology-Lancaster, 2008.
28. Morris R.C.J. Applying DOE's Graded Approach for assessing radiation impacts to non-human biota at the INL. // J. Environ. Radioact., 2006, **87**, P. 77–100.
29. Bird G.A., Thompson P.A., MacDonald D.R., Sheppard S.C. Ecological risk assessment approach for the regulatory assessment of the effects of radionuclides released from nuclear facilities. // In: «Protection of the environment from ionizing radiation». Report CSP-17. – Vienna: IAEA, 2003, P. 241–247.
30. Environment Canada. Environmental assessments of priority substances under the Canadian Environmental Protection Act (EPS 2/CC/3E). Guidance manual version 1.0 – March 1997. Chemical Evaluation Division, Commercial Chemicals Evaluation Branch, Hull, Quebec, 1997.
31. CNSC. Protection of Non Human Biota from Ionizing Radiation. Advisory Committee on Radiation Protection of the Canadian Nuclear Safety Commission, INFO 0730, 2002, Ottawa, ON.
32. Howard B.J., Larsson C.-M. The ERICA Integrated Approach and its contribution to protection of the environment from ionising radiation. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1361–1363.
33. Brown J.E., Alfonso B., Avila R. et al. The ERICA Tool. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1371–1383.
34. Beresford N.A., Brown J., Copplestone D. et al. D-ERICA: An integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation. Description of purpose, methodology and application. Deliverable for EC 6th Framework Project ERICA Contract no. FI6R-CT-2004-508847. 2007. Available from: <http://www.ceh.ac.uk/protect>.
35. Beresford N.A., Barnett C.L., Howard B.J. et al. Derivation of terrestrial transfer parameters for the ERICA Tool and the default concentration ratios for terrestrial biota. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1393–1407.
36. Hosseini A., Thorring H., Saxen R., Brown J.E. Transfer of radionuclides in aquatic ecosystems – Default concentration ratios for aquatic biota in the ERICA Tool. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1408–1429.
37. Ulanovsky A., Prohl G., Gomez-Ros J.M. Methods for calculating dose conversion coefficients for assessing radiation exposures of terrestrial and aquatic biota. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1440–1448.
38. Zinger I., Jones S., Oughton D.H. Stakeholder interaction within the ERICA Integrated Approach. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1503–1509.
39. Pentreath R.J. Radiation protection of people and the environment: developing a common approach. // J. Radiol. Prot., 2002, **2**, P. 45–56.
40. Wood M.D., Marshall W.A., Beresford N.A. et al. Application of the ERICA Integrated Approach to the Drigg coastal sand dunes. // J. Environ. Radioact., 2008, **99**, P. 1484–1495.

Поступила: 26.02.2013

Принята к публикации: 23.05.2013

Н.А. Метляева**КЛИНИКО-ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ БОЛЬНОГО В ПЕРИОДЕ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ****N.A. Metlyaeva****Clinico-Psychophysiological Adaptation of the Patient During Period of Acute Radiation Disease's Remote Consequences**

РЕФЕРАТ

Цель: Клинико-психофизиологическая оценка социально-психофизиологической адаптации больного М.Д.А. с отдаленными последствиями ОЛБ III ст., местными лучевыми поражениями тяжелой степени от крайне неравномерного гамма-нейтронного облучения с последующей ампутацией обеих ног на уровне верхней трети голеней, выполненная по данным особенности его индивидуальной психической адаптации и периодов стадийности психической адаптации.

Материал и методы: М.Д.А., 1939 года рождения, работал инженером, старшим научным сотрудником в НИЦ «Курчатовский институт» с 1963 по 2010 гг. С 1963 по 1971 гг. проводил экспериментальные работы на критических стендах транспортного энергетического реактора.

26 мая 1971 г. в возрасте 32 лет подвергся острому крайне неравномерному гамма-нейтронному облучению, перенес ОЛБ III ст. с тяжелыми местными лучевыми поражениями нижних конечностей. Доза на голову 1,3 Гр, на грудь 2,1 Гр, на ноги 16 Гр. Ампутация обеих ног на уровне верхней трети голеней проведена в 1973 г.

Психофизиологическое обследование М.Д.А. по данным теста MMPI, теста Кеттелла, Равена, сенсомоторных реакций проводилось через 30 лет после радиационной аварии в динамике в 2001, 2002, 2006, 2009 гг. с использованием автоматизированного программно-методического комплекса «Эксперт», предназначенного для исследования личностных свойств человека, когнитивных и интеллектуальных особенностей личности.

Результаты: Усредненный профиль многостороннего исследования личности (MMPI) и динамика показателей по годам наблюдения (2001–2009 гг.) указывает на дисгармоничное сочетание ипохондрических, тревожно-депрессивных и демонстративных тенденций с преобладанием демонстративности.

Оценка эффективности психофизиологической адаптации в динамике указывает на нарастание преобладания ипохондрических тенденций над демонстративностью с присоединением психотических проявлений в виде высокой тревожности и аутических черт (2009 год) при сохранении ведущей роли ипохондрической соматизации тревоги со значительным снижением эмоциональности, интегративности, стеничности и свободы поведения, которые соответствуют нарушению психической адаптации, характерному для периода нарастания адаптационного утомления.

Выводы: Эффективность психофизиологической адаптации зависит не только от дозы облучения и тяжести перенесенного заболевания, но, в большей мере, от преморбидных свойств личности пострадавшего и его социально-трудовой установки. Индивидуальные особенности психофизиологической адаптации М.Д.А. и его выраженные личностные черты в значительной мере соответствовали требованиям среды и определили его стойкое, мужественное поведение, длительную профессиональную пригодность, полноценную жизнь, способность держаться, со слов больного, за счёт работы (47 лет работы в Курчатовском институте, из них 39 лет после аварии).

Ключевые слова: острая лучевая болезнь, ионизирующее излучение, местные лучевые поражения, адаптация

ABSTRACT

Purpose: To assess the clinical-psychophysiological state of social adaptation of the patient in the period of late consequences of acute radiation disease (ARD) of severe degree combined with very severe local radiation injuries from the non-uniform gamma and neutron irradiation.

Material and methods: M.D.A. 32 year aged, the engineer – researcher of the National Research Centre “Kurchatov Institute” was accidentally exposed (May 26, 1971) to gamma neutron radiation with non-uniform absorbed dose distribution (the dose to the head 1,3 Gy, to breast 2,1 Gy, to legs 16 Gy), survived the ARD of middle severity with very severe local radiation injuries with the subsequent amputation of both legs at upper level of shins in 1973.

Psychophysiological inspection of M.D.A. according to the MMPI test, Kettell's test, Ravena, sensorimotor reactions was carried out 30 years after radiation accident and repeated in 2001, 2002, 2006, 2009 y.y. with use of the automated program and methodical Expert complex intended for research of personal properties of the patient, cognitive and intellectual features of the personality.

Results: Average profile of multilateral research of the personality (MMPI) and dynamics of indicators through the years of supervision (2001–2009) points out to the disharmonious combination of hypochondriacal, trouble - depressive with demonstrative tendencies to prevalence of a demonstration.

The assessment of efficiency of psychophysiological adaptation in comparison with 2009 indicates the increase of hypochondriacal tendencies prevalence over a demonstration with accession of high uneasiness and autistic lines at preservation of the leading role of an hypochondriacal. The changes revealed in dynamics correspond to the specific increase weight of violations of mental adaptation, characteristic for the period of adaptation exhaustion.

Conclusions: Efficiency of psychophysiological adaptation depends not only on a dose of radiation and degree of disease, but, in a bigger measure, on premorbid features of the patient and his social and labor position. Specific M.D.A. features of psychophysiological adaptation and his expressed personal lines conformed the requirements of the environment and defined his resistant, courageous behavior, long professional suitability, full-fledged life, ability hold the work account.

Key words: acute radiation disease, ionizing radiation, local radiation injuries, adaptation

Введение

Успешность деятельности и сохранения физического и психического здоровья в значительной мере зависит от эффективности процесса адаптации. Представление о ранее сформулированной стадийности психической адаптации позволило ряду авторов [1, 2] выделить три периода: первичной (не более 3 лет), стабильной адаптации (4–10 лет) и адаптационного утомления (больше 10 лет). Описанная стадийность адаптации подтверждена и другими авторами [3, 4]. Продолжительность каждого из названных периодов стадийности психической адаптации может варьировать в зависимости от индивидуальных особенностей личности и от того или иного влияния средовых воздействий, но сама закономерность чередования стадий остается неизменной.

Период первичной адаптации соответствует стадии тревоги, стабильной адаптации — стадии сопротивления, а адаптационное утомление — стадии истощения. Ухудшение качества психической адаптации в периоде адаптационного утомления отражает интеграцию (психическую и психофизиологическую) на новом, менее эффективном уровне. Если ее нарушения приобретают форму хронических болезненных состояний, речь идет о патологической интеграции. Психическая адаптация популяции в значительной мере определяется особенностями индивидуальной психической адаптации.

Влияние хронического, накопленного и острого стресса на возникновение и течение сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) выяснялось путем множества исследований и публикаций. Большое внимание уделено изучению хронического стресса на работе и его влиянию на возникновение и течение ССЗ. Karasek ввел понятие «рабочее напряжение» и выявил наиболее неблагоприятный для сердечно-сосудистой системы вид работы. Такая работа требует большой исполнительности, и при этом для неё характерен низкий уровень принятия решения. У работников, выполнявших неблагоприятный вид работы, риск коронарной смерти был в 6 раз выше, чем у остальных [15]. Другое исследование выделило тип работы, требующий большей отдачи, но не дающий достойного вознаграждения. Такая работа может быть предиктором развития ССЗ и атеросклероза. Таким образом, хронический стресс на работе оказывает значительное влияние на развитие и течение ССЗ [16].

Так как развитию острого инфаркта миокарда часто предшествует какое-либо стрессогенное событие, Holmes и Rahe разработали методику «Определения стрессоустойчивости». Наивысшими баллами оценивается смерть супруга, развод, болезнь и т.д., а наименьшими — поездка в отпуск, изменение привычек и т.д. Важна не только интенсивность событий, но и их количество за определенное время, т.к. стресс име-

ет тенденцию накапливаться (накопленный стресс) [17]. Острый стресс также повышает риск коронарной смерти. Риск смерти непосредственно после событий в 2 раза выше среди мужчин и в 3 раза выше среди женщин. Как и другие психологические факторы, психофизиологический механизм стресса включает в себя повышение артериального давления, нейрогуморальное возбуждение, гормональные сдвиги [18]. При групповых нормативах, результаты исследований конкретного человека с высокой работоспособностью могут всегда попадать только в зону высоких значений, по которым нельзя уловить момент, когда человек будет работать хуже обычного уровня [5].

Ряд авторов выделил синдром дезадаптации как весьма характерный для восстановительного периода острой лучевой болезни [6]. А.К. Гуськова, признавая реальность ряда патофизиологических механизмов этого синдрома, не видит в нем чего-либо специфического в сравнении с последствиями других тяжелых соматических заболеваний и считает, что выраженность его связана не только с тяжестью лучевого поражения, но в большей степени с исходным фоном нейроэндокринной регуляции и некоторыми ситуационными факторами, своеобразными у отдельных пациентов. Количественная оценка психофизиологических показателей, характеризующих особенности личности и актуального психического состояния, совпадает с проводимой ранее опытными клиницистами качественной оценкой этих особенностей у лиц, пострадавших от ионизирующего излучения, и у лиц с общей соматической патологией [7, 8].

Целью данной работы является оценка социально-психофизиологической адаптации больного М.Д.А. с отдаленными последствиями ОЛБ III ст., по данным особенностей его индивидуальной психической адаптации и периодов стадийности психической адаптации.

Задачами психофизиологического обследования были:

- оценка профиля личности и актуального психического состояния (тест ММРІ);
- характерологическая оценка личности (тест Кеттелла);
- оценка образно-логического мышления по данным теста Равена;
- оценка операторской работоспособности по данным сенсомоторных реакций (ПСМР, ССМР) и реакции на движущийся объект.

Материал и методы

М.Д.А., 1939 года рождения, работал инженером, старшим научным сотрудником в Курчатовском институте с 1963 по 2010 гг. С 1963 по 1971 гг. проводил экспериментальные работы на критических стендах транспортного энергетического реактора.

26 мая 1971 г. в возрасте 32 лет подвергся острому крайне неравномерному гамма-нейтронному облучению, перенес ОЛБ III ст. с тяжелыми местными лучевыми поражениями нижних конечностей. Доза на голову 1,3 Гр, на грудь 2,1 Гр, на ноги 16 Гр. Ампутация обеих ног на уровне верхней трети голени проведена в 1973 г., т.е. спустя более 2-х лет после безуспешной попытки спасти нижние конечности. В течение 38 лет с 26.05.1971 по 13.03.2009 проходил обследование и лечение в клинике ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России по поводу острых и отдаленных последствий ОЛБ III ст. тяжести и местных лучевых поражений тяжелой степени от крайне неравномерного гамма-нейтронного облучения: поздние лучевые язвы на ягодицах, правом бедре, ампутационные культы обеих голени на уровне верхней трети, лучевая катаракта III ст. обоих глаз, стабилизированная.

М.Д.А. с 1971 г. — инвалид II группы. Он научился ходить на протезах, водить машину и в течение 39 лет после аварии продолжал работу в Курчатовском институте до 2010 г. в качестве старшего научного сотрудника. Женат, дочери 33 года (1979 г.р.), закончила МГУ им. М.В. Ломоносова. Не курил, алкоголем не злоупотреблял.

При последнем поступлении в клинику 17 февраля 2009 г. жаловался на наличие язв в области седалищных бугров с двух сторон, на подъемы артериального давления, сопровождающиеся головной болью и общим дискомфортом, на боли в области сердца сжимающе-давящего характера, неиррадиирующие, возникающие после ходьбы до 100 м, купируются нитроглицерином, одышку при подъеме на более двух лестничных пролетов, головокружение при резком движении головы, ухудшение зрения, приступы общей слабости до нескольких раз в день.

Область сердца не изменена, тоны сердца аритмичные, приглушены. ЧСС 64 в мин, АД на момент поступления — 140/80 — 160/80 — 130/80 мм рт. ст. (мах 180/100 мм рт. ст.) Анализ крови: 18.02, 03.03, 11.03.2009 г.: Нв 120 — 132 — 129 г/л, эр. 4,18 — 4,44 — 4,41 млн., СОЭ 35 — 10 — 8 мм/ч, рет. 7, тром. 293 — 298 — 300 тыс., л. 7,7 — 7,6 — 8,3, п. 3, с. 51 — 54, эоз. 2 — 1 — 1, лимф. 38 — 32, м. 5 — 6 — 4. Биохимия крови: ЩФ 64, АЛТ 16, амилаза 34, АСТ 20, КФК 119, ГГТ 54, ЛДГ 245, прямой билирубин 1,9, общий билирубин 14,6, кальций 2,47, холестерин 6,42, креатинин 150, глюкоза 6,87, железо 9 %, общий белок 75, триглицериды 1,54, натрий 143, калий 4,44. Гормоны щитовидной железы: общий Т4 — 160, Т3 — 2,9, ТТГ — 1,6, АТ к ТТГ 26,1 (N). Анализ крови на ПСА: ПСА — 5,06, (N 0,16—4,0), св. ПСА — 0,898 (N 0,038—0,50), коэф. св. ПСА / ПСА — 17 (N 10—25 %). ЭКГ от 06.03.09: Регистрируется смена собственного ритма — мерцательной аритмией с ЧЖС 66—68 в мин. с ритмом желудочков от ЭКС 60 в мин., сливные комплексы. Рубцовые

изменения миокарда по передне-перегородочной и верхушечной области. Недостаточность коронарного кровообращения в области передней стенки левого желудочка. Эхокардиография: уплотнение стенок аорты, створок АК и МК. Незначительной степени дилатация ЛП и ЛЖ. Локальная сократимость ЛЖ снижена. ФВ 41 % (норма 60—75 %). Допплеровская эхокардиография: Нарушение диастолической функции по 1 типу, регургитация на МК 2 ст., ТК — 1 ст.

Психофизиологическое исследование проводилось с использованием автоматизированного программно-методического комплекса «Эксперт», предназначенного для исследования личностных свойств человека, когнитивных и интеллектуальных особенностей личности.

Оценку эффективности психической адаптации по тесту ММРІ проводили с учетом высоты показателя Т-баллов. Границами популяционной статистической нормы по шкале Т-баллов являются 70 баллов ($M+2\sigma$) и 30 Т-баллов ($M-2\sigma$), с вероятностью 95 % ограничивающие изучаемую совокупность. Подъемы ММРІ за 70 Т-баллов с высокой (до 95 %) надежностью указывают на повышенную вероятность нарушений психической и социальной адаптации. Высота показателей между 70 и 80 Т-баллами указывает на неустойчивую психическую адаптацию, выше 80-баллов — на перенапряжение психической адаптации. Отклонения от средних значений ММРІ вниз менее прогностически значимы, чем подъемы. В отличие от ММРІ, в тесте Кеттелла прогностически значимыми могут быть как подъемы, так и снижение значений отдельных факторов. Средним значением любого фактора теста Кеттелла является 5,5 стана. Выраженными отклонениями от средних являются значения факторов более 8 и менее 3.

Результаты и обсуждение

Психофизиологическое обследование М.Д.А. с использованием теста ММРІ, теста Кеттелла, Равена, сенсомоторных реакций проводилось через 30 лет после радиационной аварии (1971 г.) в динамике в 2001, 2002, 2006, 2009 гг. (рис. 1). Клиническое наблюдение, обследование и лечение проводилось в течение 38 лет. На период проведения психофизиологического обследования в 2001 и 2002 гг. известно, что М.Д.А. в возрасте 46 лет, наряду с отдаленными последствиями ОЛБ III ст. тяжести и местными лучевыми поражениями III—IV ст., имеет ампутационные культы обеих голени на уровне верхней трети, лучевую катаракту II—III ст., диффузный эутиреоидный зоб. Состояние здоровья определяло наличие такой психосоматической и соматической патологии как ИБС: стенокардия ФК II ст., острый инфаркт миокарда (1985 г.), гипертоническая болезнь II ст., язвенная болезнь желудка (1989 г.), состояние после

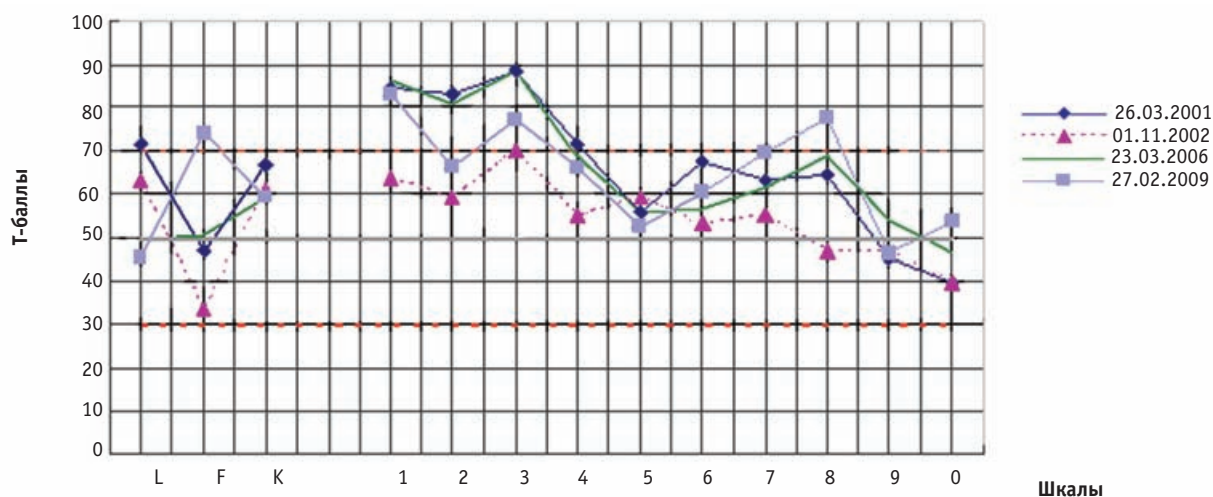


Рис. 1. Психологический профиль многостороннего исследования личности (ММРП) больного М.Д.А. за 2001–2009 гг.

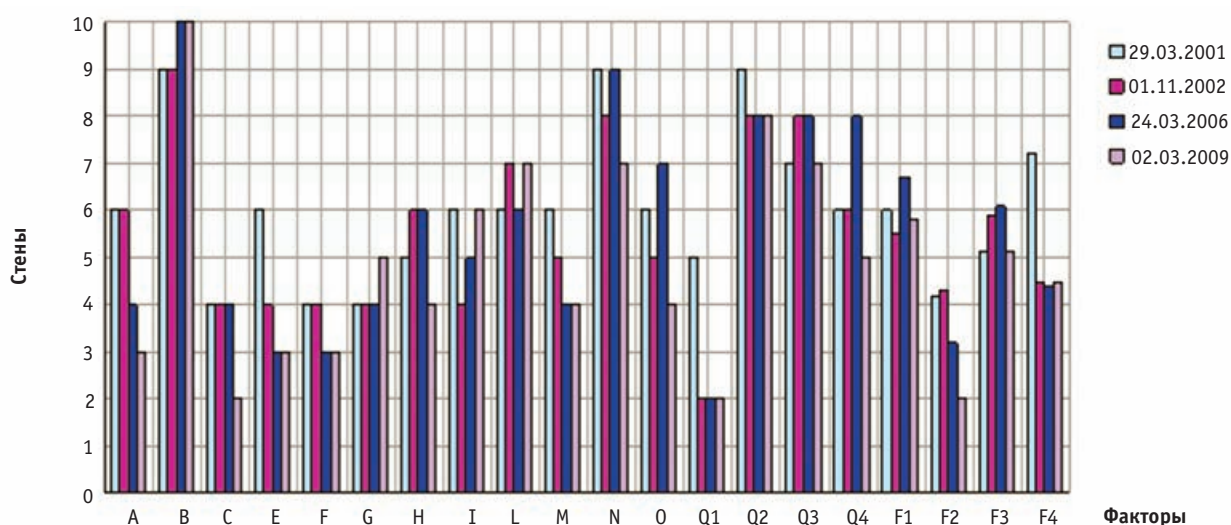


Рис. 2. Характерологические особенности личности по данным теста Кеттелла больного М.Д.А. за 2001–2009 гг.

аорто-коронарного шунтирования (трехшунтовое), в послеоперационном периоде осложнившееся острой почечной недостаточностью (1998 г.), аневризма левого желудочка, аденома простаты.

По данным психофизиологического обследования (2001–2002 гг.) профиль личности (рис. 1) на первых трех шкалах (1, 2, 3) имеет вид буквы V — это сочетание неприятных физических ощущений с вегетативной тревогой и с преобладанием демонстративных тенденций, направленных на преодоление трудностей, обусловленных состоянием здоровья (шкала 3). Также наблюдается желание выглядеть в благоприятном свете (шкала L), заинтересованность в создании благоприятного образа своей личности, в социальном положении, в стремлении не привлекать внимания окружающих к своим трудностям и проблемам (шкала K). Сочетание повышения профиля

личности на первой, второй и третьей шкалах с умеренным снижением на девятой указывает на дисгармоничное сочетание ипохондрических, депрессивных и на преобладание демонстративных тенденций, при котором интрапсихический конфликт обусловлен противоречием между эгоцентризмом, свойственным демонстративной личности (преодоление трудностей, с ориентировкой на собственные желания и потребности) и выраженной симбиотической тенденцией, характерной для субдепрессивной личности, которая сопровождается снижением ценности собственных потребностей.

По данным теста Кеттелла (рис. 2) при сниженной интегративности и стеничности поведения (фактор C = 4 стена) М.Д.А. имеет среднюю эмоциональность (фактор A = 6 стен), высокий интеллект (фактор B = 9 стен), хорошее образно-логическое мышление

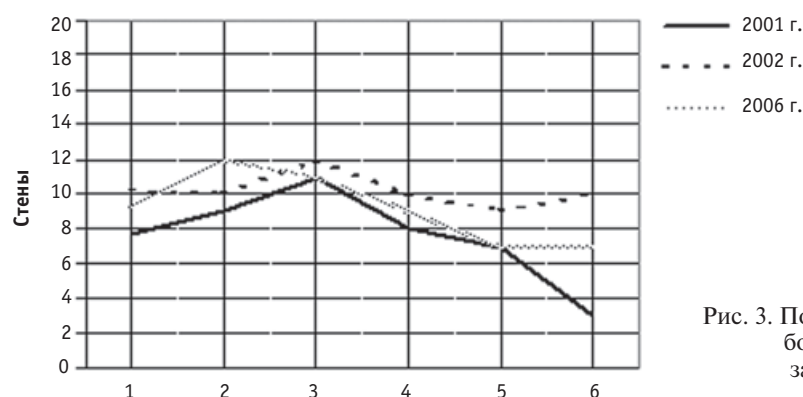


Рис. 3. Показатели теста Равена
больного М.Д.А.
за 2001–2006 гг.

(рис. 3, тест Равена), воспитанные формы поведения (фактор N = 9 – высокий), культурный человек. Работать в группе не любит, любит работать один (фактор Q2 = 9 стен), самостоятельный, самодостаточный, организован, строит поведение с учетом требований окружения (фактор Q3 = 8 стен). Уровень фрустрационной напряженности (Q4 = 6 стен) и тревоги (F1 = 6 стен) средний, возможность для контактов ограничена (F2 = 4,2 стена). Достаточно высокий интеллект обуславливает хорошую адаптацию к окружению с уверенностью в себе, высокую социальную приспособляемость, стойкость в преодолении трудностей.

Хорошее среднее время простой сенсомоторной (305–321 мс) и сложной сенсомоторной реакции (559,6–638,8 мс) с 1–2 ошибками, быстрая реакция (995,0–1002,4 мс) и точность (10–13 %) реакции на движущийся объект свидетельствуют о достаточных реальных функциональных резервах нервной системы и о его хорошей операторской работоспособности.

Таким образом, дисгармоничное сочетание ипохондрических, тревожно-депрессивных и демонстративных тенденций с преобладанием демонстративности на первой, второй и третьей шкалах с умеренным снижением на девятой у данного пациента является проявлением оптимизма и стойкости перед тяжелым недугом (рис. 4). М.Д.А. продолжает выполнять работу старшего научного сотрудника, водит машину, на работу ездит сам на машине, беспокоится об успехах дочери на экзаменационной сессии.

С 2005 г. состояние М.Д.А. ухудшилось. Участились приступы стенокардии, стало повышаться артериальное давление (max 180/100, адаптирован к 130/80 мм рт.ст.). Нарастает полиорганная недостаточность в виде ИБС: стенокардия ФК III ст., постинфарктный (1985) и атеросклеротический кардиосклероз, ФК II (NYHA). С 2005 г. установилась постоянная форма мерцательной аритмии. Гипертоническая болезнь III ст., риск 4. В 2005 г. выявлен рак простаты

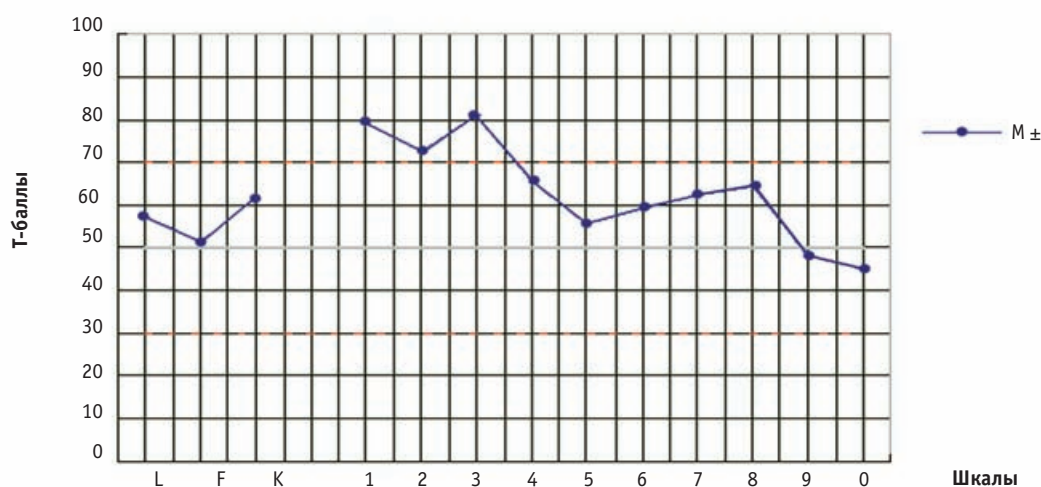


Рис. 4. Усредненный профиль теста ММРІ больного М.Д.А. за 2001–2009 гг.

T₃N₀M₀, проведена билатеральная орхэктомия (2005), прогрессирование процесса (2009). Сахарный диабет II типа, средней тяжести, субкомпенсация (2005). Хронический бронхит легкой степени, затяжное обострение. Эмфизема. Диффузный пневмосклероз. ДН 1–2 ст. Трофическая язва кожи крыла носа справа (2005). Имплантация искусственного водителя ритма (2006).

При психофизиологическом обследовании (рис. 1, 2) в динамике (2006 г.) можно отметить наступление периода адаптационного утомления с увеличением озабоченности состоянием здоровья, преобладанием ипохондрических тенденций (1Нs – 86,0 Т-баллов), снижением эмоциональности (фактор А = 4 стень), появлением склонности к отгороженности, к снижению эмоциональной и волевой регуляции поведения (фактор С и G = 4,0 вместо 6 стень), нарастанием факторов, определяющих эмоциональную напряженность, таких как: недовольство ситуацией и своим положением в ней (фактор О = 7 стень), фрустрационная напряженность (фактор Q4 = 8 стень), тревожность (фактор F1 = 7 стень), ограничение контактов, большее желание работать вне группы, самостоятельно (фактор О2 = 8 стень). При этом сохраняются высокий интеллект (фактор В = 10 стень), хорошее образно-логическое мышление (Рис. 3, тест Равенна), высокий контроль над эмоциональной сферой, умение сдерживать свои эмоции, сохранять самостоятельность, самодостаточность, организованность, желание строить поведение с учетом требований окружения (фактор Q3 = 8 стень).

Сохраняется хорошее среднее время простой сенсомоторной (351,2 мс) и сложной сенсомоторной реакции (742,25 мс) с 2 ошибками, короткое время реакции (1015,5 мс), однако снижение точности реакции на движущийся объект с 10–13 % до 2 % свидетельствует о проявлении недостаточности реальных функциональных резервов нервной системы.

Последнее клиническое и психофизиологическое обследование в стационаре проходило с 17.02.09 по 13.03.09 г. Основной причиной поступления в клинику явилось присоединение к указанной выше патологии поздних лучевых язв на ягодицах и правом бедре, прогрессирование рака простаты.

При психофизиологическом исследовании (рис. 1) в неврологической триаде выявляется преобладание ипохондрических тенденций (1Нs – 83,0 Т-баллов), характеризующих соматизацию тревоги. Чрезмерная обеспокоенность состоянием здоровья сочетается с демонстративными тенденциями (шкала 3 – 77 Т-баллов), с повышением тревожности (шкала 7 – 69,7 Т-баллов) и с нарастанием увеличения своеобразия восприятия и оценки ситуации (шкала 8 – 77,6 Т-баллов), что обуславливает появле-

ние впервые с 2009 г. повышенного психологического профиля на седьмой и восьмой шкалах. Одновременное существование демонстративности с присоединением высокой тревожности, аутических черт при сохранении ведущей роли ипохондрической соматизации тревоги указывают на нарастание дисгармоничности личности, ограничительного поведения (шкала О – 53,6 Т-баллов), на признаки увеличения адаптационного утомления. По данным теста Кеттелла (рис. 2) отмечаются значительное снижение эмоциональности (фактор А = 3 стень), интегративности и стеничности поведения (фактор С = 2 стень), свободы поведения (F2 = 2 стень). Однако по-прежнему сохраняются высокий интеллект (фактор В = 10 стень), хорошее образно-логическое мышление (рис. 3, тест Равенна), воспитанные формы поведения (фактор N = 7 стень), желание обеспечить высокий контроль над эмоциональной сферой, сдерживать свои эмоции (G = 5 стень), сохранять самостоятельность (фактор Q2 = 8 стень), самодостаточность, организованность, строить поведение с учетом требований окружения (фактор Q3 = 8 стень).

Таким образом, ухудшение качества психической адаптации М.Д.А. указывает на нарастание адаптационного утомления, которое отражает интеграцию (психическую и психофизиологическую) на новом, менее эффективном уровне. Нарушения приобретают форму хронических болезненных состояний в виде патологической интеграции. Продолжительность периодов стадийности психической адаптации в виде первичной и стабильной адаптации и адаптационного утомления в данном случае варьируют в зависимости от индивидуальных особенностей личности М.Д.А. и от влияния средовых воздействий, предъявляющих повышенные требования к адаптационным механизмам.

Период первичной адаптации в течение первых трех лет (1971–1973 гг.) непосредственно связан с изменением условий, в которых жил и работал М.Д.А. 26 мая 1971 г. он срочно поступил в клинику ГНЦ ИБФ – КБ №6 по поводу острого крайне неравномерного гамма-нейтронного облучения, ОЛБ III ст. с тяжелыми местными лучевыми поражениями обеих ног. Наряду с лечением ОЛБ, в течение более двух лет решался вопрос о возможности сохранения или ампутации обеих ног, границы возможной ампутации, которая была осуществлена на уровне верхней трети голени в 1973 г. Напряженность адаптационных механизмов и развитие психического стресса в этом периоде можно объяснить тем, что в связи с аварией произошло устранение привычного знакомого образа жизни и работы (лечение, ампутация, протезирование, обучение ходьбе на протезах, вождение машины) с одной стороны, это изменяет структурированность

ситуации, а с другой — снижает эффективность адаптивного поведения, базирующегося на приобретенных в иных условиях навыках.

Напряженность адаптационных механизмов в первичный период можно поставить в зависимость от мобилизации психофизиологических ресурсов организма, характерной для адаптационного напряжения [9]. Такая мобилизация обеспечила М.Д.А. достаточную эффективность адаптационного процесса и переход в период стабильной психической адаптации. Наряду с возрастанием выраженности характеристик, играющих роль в формировании эмоционального стресса и отражающих его интенсивность (фрустрационная напряженность, ее отношение к интеграции поведения и порогу фрустрации, уровень реализованной лабильности, недовольство ситуацией и своим положением в ней, тревога), для этого периода типично существенное при адаптации повышение уровня мотивации достижения, которая определяет стремление к активному овладению ситуацией, к эффективной деятельности [10, 11].

Выраженные личностные черты М.Д.А., которые в значительной мере определили его поведение, способствовали его психической адаптации и отвечали требованиям среды (рис. 4). Однако, если при изменении условий такое соответствие исчезает или если длительное напряжение адаптационных механизмов приводит к нежелательному заострению акцентированных черт, адаптивные возможности индивидуума нарушаются, а акцентированные черты облегчают возникновение интрапсихических и межличностных конфликтов, приводящих к декомпенсации психического состояния [12–14].

Роль акцентированных особенностей личности изменяется в результате адаптационного утомления. При этом отмечаются наибольшая частота нарушений психической адаптации и наименьший удельный вес акцентированных личностей, не обнаруживающих таких нарушений. Чрезмерное заострение акцентированных черт затрудняет психическую адаптацию и приводит к декомпенсации психического состояния (рис. 1, 2009).

Таким образом, М.Д.А. пережил трудную психологическую ситуацию, стресс и психическую травму, связанную с аварией. Выход из этой ситуации зависит не только от дозы облучения и тяжести перенесенных заболеваний, но в большей мере от преморбидных свойств личности пострадавшего, его социально-трудовой установки. Высокий интеллект, воспитанные формы поведения обеспечили М.Д.А. стойкость перед тяжелым недугом, способствовали хорошей адаптации к окружению с уверенностью в себе, высокую социальную приспособляемость, возможность успешно выполнять обязанности старшего научного

сотрудника. При этом в личной беседе М.Д.А. дал следующую оценку своему состоянию и своему отношению к работе: он отметил, что его «беспокоит постоянная общая слабость, чувство дискомфорта из-за отсутствия ног. Утром трудно вставать, всё болит, но на работе к обеду вхожу в работу, меньше беспокоит болезнь». Считает, что он держится за счёт работы. Хотя в последнее время отношение молодого начальника менее вдумчивое по оценке его работы (поручил работу молодому сотруднику, который не знает, как её делать). С огорчением отметил, что упал уровень исследовательской работы в отделе.

Индивидуальные особенности психофизиологической адаптации М.Д.А. и его выраженные личностные черты (рис. 4) в значительной мере определили его поведение, стойкость перед тяжелым недугом, высокую социальную приспособляемость, длительную профессиональную пригодность (47 лет работы в Курчатовском институте, из них 39 лет после аварии), полноценную жизнь. М.Д.А. умер 28 июля 2010 г. от сердечно-сосудистой недостаточности в период высокой задымлённости и чрезвычайно жаркого лета в Москве.

Выводы

1. Усредненный профиль многостороннего исследования личности (ММРП) и динамика показателей по годам наблюдения (2001–2009 гг.) указывает на дисгармоничное сочетание ипохондрических, тревожно-депрессивных и демонстративных тенденций с преобладанием демонстративности как способа преодоления трудностей и проявления стойкости перед тяжелым недугом у пациента.
2. Оценка эффективности психофизиологической адаптации в динамике указывает на нарастание преобладания ипохондрических тенденций над демонстративностью с присоединением психотических проявлений в виде высокой тревожности и аутических черт (2009 г.) при сохранении ведущей роли ипохондрической соматизации тревоги со значительным снижением эмоциональности, интегративности, стеничности и свободы поведения, которые соответствуют нарушению психической адаптации, характерному для периода нарастания адаптационного утомления.
3. Высокий интеллект (фактор В = 10 стень), хорошее образно-логическое мышление (тест Равена), воспитанные формы поведения (фактор N = 7 стень), высокий контроль над эмоциональной сферой, сдержанность эмоций (G = 5 стень), самостоятельность (фактор Q2 = 8 стень), самодостаточность, организованность, поведение с учетом требований окружения (фактор Q3 = 8 стень) обеспечили М.Д.А. преодоление и стойкость перед тяжелым

недугом, хорошую адаптацию к окружению с уверенностью в себе, высокую социальную приспособляемость, возможность успешно выполнять профессиональные обязанности.

4. Сравнительная оценка операторской работоспособности М.Д.А. показала хорошее среднее время простой сенсомоторной (351,2 мс) и сложной сенсомоторной реакции (742,25 мс) с 2 ошибками, короткое время реакции на движущийся объект (1015,5 мс), однако снижение точности реакции на движущийся объект с 10–13 % до 2 % свидетельствует о проявлении недостаточности реальных функциональных резервов нервной системы.
5. Эффективность психофизиологической адаптации зависит не только от дозы облучения и тяжести перенесенного заболевания, но, в большей мере, от преморбидных свойств личности пострадавшего и его социально-трудовой установки. Индивидуальные особенности психофизиологической адаптации М.Д.А. и его выраженные личностные черты, несмотря на тяжелую психосоматическую и общесоматическую патологию, в значительной мере соответствовали требованиям среды и определили его стойкое, мужественное поведение, длительную профессиональную пригодность и полноценную жизнь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин Ф.Б. Некоторые закономерности психической и психофизиологической адаптации человека. // Тез. докладов II Всесоюз. конф. по адаптации человека к различным географическим, климатическим и производственным условиям. — Новосибирск, 1977. Т. 4. С. 119–121.
2. Березин Ф.Б., Соколова Е.Д. Адаптация человека к условиям Севера и психическое здоровье. // Научно-технический прогресс и приполярная медицина: Тезисы доклада IV международного симпозиума по приполярной медицине. — Новосибирск, 1978, Т. 1, С. 252–253.
3. Короленко Ц.П. Психофизиология человека в экстремальных условиях. — Л., 1978, 150 с.
4. Соколова Е.Д., Калачев В.Ф., Долныкова А.А. Клинические аспекты нарушений психической адаптации. // В кн.: «Психическая адаптация человека в условиях Севера». — Владивосток, 1980. С. 77–96.
5. Якимович Н.В. О возможности применения в системе предполетного медицинского контроля методики оценки психической работоспособности. // Матер. VII международного научно-практич. Конгресса «Человек в экстремальных условиях: клиничко-физиологические, психологические и санитарно-эпидемиологические проблемы профессиональной деятельности». 25–28 октября 2010 г., — М., 2010, С. 74–77.
6. Глазунов И.С., Благовещенская В.В. // Журнал невропатологии и психиатрии им. С.С. Корсакова, 1968, № 8, С. 1129–1136.
7. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. — М.: Медицина, 1971, 384 с.
8. Гуськова А.К. Авария Чернобыльской атомной станции (1989–2011 гг.): последствия для здоровья. Размышления врача. — М.: ФГУ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна, 2011, 253 с.
9. Казначеев В.П. Очерки теории и практики экологии человека. — М., 1983, 180 с.
10. French J.R.P., Jr., Rodgers W. Adjustment as person-environment fit. // J. Soc. Issues, 1974, No. 18, P. 316–333.
11. McCrae R.R. Situational determinants of coping responses: Loss, threat and challenge. // J. Pers. Soc. Psychol., 1984, 46, No. 4, P. 919–928.
12. Березин Ф.Б. Психическая и психофизиологическая адаптация человека. — Л.: Наука, 1988, 267 с.
13. Баевский Р.М., Берсенева А.П., Бойко Е.Р. и соавт. Медико-экологические исследования в рамках космического эксперимента «Марс-500». // В сб.: «Донозология. Проблемы здорового образа жизни». Материалы 5-ой Междун. научной конф., 17–18 декабря 2009 г. — СПб, 2009, С. 181–183.
14. Берсенева Е.Ю., Черникова А.Г. Донозологический подход к оценке функциональных резервов и его применение к анализу данных эксперимента «Марс-500». // Там же, С. 184–187.
15. Hoyer J., Eifert G.F. Heart-focused anxiety before and after cardiac surgery. // Journal of Psychosomatic Res., 2008, 64, P. 291–297.
16. Karasek R.A., Baker D. Job decision latitude, job demands, and cardiovascular disease. // Public Health, 1981, 71, P. 694–705.
17. Robert M., Kenneth E., Veith R.C. Depression, the autonomic nervous system, and coronary heart disease. // Psychosomatic Medicine. 2005, 67, Suppl., P. 29–33.
18. Rozanski A., Blumenthal J.A., Kaplan J. Impact of psychological factors on the pathogenesis of cardiovascular disease and implications for therapy. // American Heart Association, 1999.

Поступила: 01.04.2013

Принята к публикации: 23.05.2013

V.Yu. Soloviev, A.V. Barabanova, A.Yu. Bushmanov, A.K. Guskova, L.A. Ilyin
REVIEW OF THE RADIATION ACCIDENTS CONSEQUENCES IN THE
FORMER USSR TERRITORY (BURNASYAN FMBC OF FMBA OF RUSSIA
REGISTER DATA)

В.Ю. Соловьев, А.В. Барабанова, А.Ю. Бушманов, А.К. Гуськова,
Л.А. Ильин

Анализ медицинских последствий радиационных инцидентов
на территории бывшего СССР (по материалам регистра ФМБЦ
им. А.И.Бурназяна ФМБА России)

РЕФЕРАТ

В работе представлены обобщенные сведения по радиационным инцидентам на территории бывшего СССР, сопровождавшихся облучением людей с клинически значимыми последствиями.

За более чем 60-летний период (с 1949 г.) на территории бывшего СССР произошло, по крайней мере, 356 радиационных инцидентов, сопровождавшихся облучением людей с клинически значимыми последствиями у 765 пострадавших. Из этой когорты облученных диагноз острой лучевой болезни (ОЛБ), включая случаи, отягощенные местными лучевыми поражениями (МЛП), был установлен в 358 случаях. 407 пострадавших имели только местные лучевые поражения. В общей сложности в результате радиационного воздействия в первые 3–4 месяца после облучения погиб 71 человек.

Ключевые слова: радиационный инцидент, медицинские последствия, острая лучевая болезнь, местные лучевые поражения, база данных

ABSTRACT

The paper sums up the information on radiation incidents/accidents at the former USSR territory that related to the human exposure with significant clinical effects.

Within more than 60 years (since 1949), at least 356 such radiation incidents have happened at the former USSR territory, and there were 765 victims with clinically significant health effects. This exposed cohort includes 348 patients revealed acute radiation sickness (ARS) including cases aggravated by local radiation injuries (LRI). Isolated LRI were registered in 407 victims. Totally, 71 cases of early (within first 3–4 months) radiation induced fatalities were observed.

Key words: radiation accident, medical consequences, acute radiation sickness, local radiation injuries, database

The Radiation Accident Register created in the A.I. Burnasyan FMBC of FMBA of Russia appears to be the basis for several of our publications related to medical consequences of radiation incidents in the former USSR territory [1–4]. The published data on accidents' victims with acute radiation sickness (ARS) or the local radiation injuries (LRI) being analyzed in chronological sequence were of common character and presented simple enumeration of medical consequences. In to-day work we solved to expand the analysis and to give more detailed clinical characteristic of typical incidents inside separated groups of them.

The most important medical consequences were observed in the Chernobyl 1986 accident resulted into 30 early fatalities (two victims directly as a result of reactor explosion and 28 — as a result of irradiation). The ARS diagnosis was made to 134 victims (21 — very severe degree, 22 — severe, 50 — moderate and 41 — mild). The clinical course of ARS was aggravated with serious skin radiation burns in 54 cases. Clinical consequences of the Chernobyl

accident have been described repeatedly in details, as an example, [5].

All other radiation accidents within the present publication are united in groups, and general characteristics and features of their medical consequences are analysed.

Accidents at x-ray devices and the charged particles' accelerators

We selected accidents with x-ray devices and charged particles accelerators in separate group (see Table). There were 31 accidents recorded in this group, which include 8 accidents in medical use of radiation and all other accidents took place at academic and research facilities. People injured in these accidents had only LRI of different severity and there was no mortal outcome. However, some of these cases led to the long disability and, therefore, continuous care (for 10–30 years) was essential. Only one accident with x-rays (in a period of 1962–2006) had several victims, as faulty x-ray therapy machine was used in cosmetic procedure. (Nizhny Novgorod, 2001). It's

Оригинал данной статьи на русском языке напечатан в журнале «Мед. радиол. и радиац. безопасность», 2013, 58, №1, С. 36–42.

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: soloviev.fmbc@gmail.com

Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia, E-mail: soloviev.fmbc@gmail.com

Table

Radiation accidents in the former USSR territory (according Burnasyan FMBC Register, 01/01/2013): Summarized data on radiation accidents with significant medical effects

Accident classification	Number of accidents	Number of victims with significant clinical effects (ARS and LRI)							
		Total	Including with ARS (severity degree)*				ARS + LRI	LRI only	died
			I–IV	II–IV	III–IV	IV			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Accidents with radioisotope facilities and its sources (total)	94	171	51	27	11	6	34	120	16
Including: ^{60}Co	17	28	15	9	6	3	9	13	3
^{137}Cs	19	58	13	7	1	—	12	45	9
^{192}Ir	39	56	11	3	—	—	9	45	1
other sources	19	29	12	8	4	3	3	17	3
2. x-ray units and accelerators (total)	43	52	—	—	—	—	—	52	—
Including: x-ray units	30	38	—	—	—	—	—	38	—
electron accelerators	10	11	—	—	—	—	—	11	—
proton accelerators	3	3	—	—	—	—	—	3	—
3. Reactor accidents and loss of control over the criticality of fissile material (without the Chernobyl accident, 1986)	33	82	73	39	25	13	31	9	13
Including: control over criticality loss	16	42	42	30	20	10	26	—	10
reactor accidents (other reasons)	17	40	31	9	5	3	5	9	3
4. LRI cases of «Mayak» Plant (1949–1956)	168**	168	—	—	—	—	—	168	—
5. Accident at the nuclear-powered submarines and accidents at nuclear tests	5	141	93	37	19	12	74	48	12
6. Other accidents (total)	12	17	7	3	2	2	3	10	2
TOTAL (without the Chernobyl accident, 1986)	355**	631	224	106	57	33	142	407	43
7. The Chernobyl accident, 1986	1	134	134	93	43	21	54	—	28
TOTAL (1949–2011)	356**	765	358	199	100	54	196	407	71

* ARS degrees: I – mild, II – moderate, III – severe, IV – very severe (“II–IV” means “moderate and more”)

** each case with LRI at the enterprises of Mayak Plant 1949–1956 seen as an isolated incident

important to know that only one accident happened out of Russian Federation borders – in Frunze University (Kirghiz SSR, 1967).

Thirteen incidents with 14 people involved were recorded at charged particle accelerators (in 1957–2005). Ten of these incidents happened at electron accelerators and three – at proton accelerators. Only in one accident two persons were irradiated at once (St.Petersburg, 1979), others reviled by one victim. Health effects of this type of accident in most cases were more serious than those at x-ray devices, and there was distinct relationship between the energy of radiation and the injury severity. All accidents happened in Russian Federation territory (except one – Ukraine, Kiev, 1977).

Accidents at industrial gamma facilities and with other gamma-radionuclide sources

This group of accidents with gamma radiation sources is the largest one and can be divided into several subunits. The first one includes accidents happened at industrial radiological facilities where powerful gamma source used, as an example, for sterilization of medical products. Sealed 4.0–20 PBq and more activity ^{60}Co -sources are used. There were 6 accidents registered here. The whole-body irradiation resulted in development of ARS, complicated

with severe LRI in three cases was observed. Victims of two most serious accidents (St.Petersburg, 1980 and Nesvizh – Belarus, 1997) were exposed to whole body dose ≥ 15 Gy. They developed intestinal syndrome of ARS and died on the day 10th and 111th, relatively. The difference in time of death can be explained with significant progress in ARS treatment within the past two decades. In other four accidents 5 people were involved: two of them were irradiated to whole body relatively homogeneously (bone marrow syndrome), other victims were exposed with non-homogeneous absorbed dose distribution, and bone marrow syndrome of ARS was combined with severe LRI. In all cases of this group the cause of accident was flagrant violation of safety rules.

The second subunit is the most numerous – it includes 52 accidents with ^{60}Co , ^{137}Cs and ^{192}Ir radioactive sources, mostly used in radiography. There 62 victims in total, and only LRI took place in all cases.

The third sub-group consists of 42 accidents with gamma-sources, which had not been controlled, i.e. “lost” sources, and accidents when ionizing radiation source was used in criminal purpose or in purpose of suicide. (See the part “Other accidents”). In all these accidents non-homogeneous irradiation took place with ARS and LRI

(31 accidents) or only LRI (58 accidents). There were 14 lethal cases registered in this group.

It is a good reason to repeat once more the conclusion of our article [6], that accidents with “lost” sources are of particular dangerous, because the victims in most cases were persons from population, including children (!), and health effects in most of victims were more serious than those in personnel exposed, for example, in accidents with radiography devices. One of the reasons of the serious health effects in accidents with “lost” sources links with too late hospitalization. People who found the source do not have an idea about the nature of the object, its danger and unable to understand relationship of that with the disease appearing.

Significant radiation exposure was observed in three accidents (7 victims) with “lost” sources used in medicine. And it is important to mention that there was disrepair of transportation equipment in two these cases. One of these accidents is described hereinafter.

In general, there were 171 victims in 103 accidents with radionuclide sources; 51 of them revealed ARS, and 34 had ARS combined with LRI; 120 victims had only LRI. Seventeen victims died of ARS. The structure of accidents by relation to the nuclide involved is following: ^{60}Co -source (energy of γ -radiation 1.1–1.3 MeV) – 17 accidents, ^{137}Cs -source (energy of γ - radiation 0.662 MeV) – 19 accidents, ^{192}Ir -sources (maximum energy of γ - radiation 0.618 MeV) – 39 accidents. However, the severity of radiation damage did not always depend on energy of radiation; mostly it depended on the source activity, and precise condition of irradiation in each particular case.

Some of listed accidents must be described in more detail, as they had several victims and the cause was malfunction of the equipment or inappropriate source storage. Among these is the accident with ^{60}Co -source (Sverdlovsk, 1975), where the cause of the accident was shipping container malfunction; the source transported for burial fell out unnoticed of the container to the car body. Three people were irradiated; the whole body dose of one of them was about 7 Gy. He was hospitalized on the day 14th since the accident and died of ARS on the day 35th in spite of very active therapy.

Accident with high-energy ^{137}Cs -source in troop unit (former Azerbaijan SSR, 1982) had drastic consequences too. Cause of the accident was inappropriate storage of “spent” source: the source was found in raincoat that was wearied by several people. As a result 18 people were irradiated, and had non-homogeneous distribution of absorbed dose. Five people died of very severe LRI (local dosage ≥ 700 Gy), combined in one victim with high extent of ARS disease and in other four cases with middle and mildew bone marrow syndrome. Thirteen victims had LRI of hands (one victim had LRI of hand and thigh).

There was no death among these LRI patients, however, in three of them LRI was the cause of stable disability.

Two of nineteen accidents with ^{137}Cs -source in 1967–1997 happened in Ukrainian SSR, (Kramatorsk, 1982 and Kharkov, 1983). One of these accidents listed above – Azerbaijan SSR, 1982, and after break up of Soviet Union – in Tallinn (Estonia, 1994) and in Tbilisi (Georgia, 1997). Other 14 accidents had happened in Russia.

Accident in Kramatorsk (1982) is quite different from all other accidents. High-energy ^{137}Cs -source had been inserted in construction bloc of dwelling; therefore dwellers had been irradiated for long time. There was not registered ARS diagnosis as the radiation wasn’t acute, but total dosage was intense and 2 victims died in one family; the cause of death was tumorous disease, which in such case is related to chronic radiation exposure.

Another case with an “orphan” ^{137}Cs -source had happened in Tallinn. The source was found at the scrap site by a boy and brought to dwelling. It was established that 4 people were irradiated and developed ARS combined with LRI. One of the victims died because of very late ARS diagnosis. In the Georgian 1997 accident 9 soldiers were irradiated, some of them revealed multiple LRI, none died. These two accidents described in details in IAEA publications.

Accident of criminal character in Moscow (1993) had the lethal outcome, as far as; ARS wasn’t diagnosed in proper time and has not been treated properly. Another accident with prolonged (about 5–6 months) irradiation related to criminal activity happened in Moscow (1995). The victim had developed chronic radiation disease from external non-uniform gamma irradiation (summary whole body dose about 8–10 Gy) with malignant transformation. He died 2 years after.

Also there were other 3 accidents related to criminal usage of radiation source. Two people in Lipetsk (1974) were exposed with stolen by them source. They had extent ARS of middle severity, combined with LRI in one patient; both of them were treated successfully. In Norilsk (1985) a ^{192}Ir source was found built in the chair used by several people; there was no lethal outcome, but as a result of localized exposure of buttock spermatogenesis disorder were registered in three victims. In Bratsk (1991) there was no lethal outcome as well, however, one case of mild severity ASR resulted from irradiation with stolen and destroyed source (^{137}Cs) was observed.

Among the accidents with “lost” gamma-sources there are two that should be mentioned separately, as soon as, children appeared to be victims. The first one had happened in Yuzhno-Sakhalinsk (1980); 10-years old boy was exposed to radiation, absorbed dose estimated to fingers (source in hand) was 20–30 Gy and to two spots on abdomen area (source in pockets): ≥ 30 Gy. Patient

died of moderate degree ARS combined with severe LRI. The second one — in Krasnodar region (1982); of 8-years old girl was exposed and moderate severity LRI of hand and foot developed, and surgical operation appeared to be necessary for treatment.

The loss of the ^{192}Ir source in Gorky (1984) led to 8 LRI cases. Four of them had low extent of ARS, combined with LRI, other victims had only LRI, and none died. The same situation in Kharkov (1990) led to one case of ARS with LRI, no lethal outcome. There was one ^{192}Ir accident of criminal character with LRI case registered in Far Eastern district (1976).

As it was mentioned above, there were 39 incidents with ^{192}Ir -sources used for gamma-defectoscopy (1969–2007); most of them (27) were linked with abnormal situation during working procedure. Among these there were accidents in Frunze (Kirghiz SSR, 1979), at Ignalinskaya NPP (Lithuanian SSR, 1985), Tashkent (Uzbek SSR, 1988) and in Kharkov (Ukrainian SSR, 1990). Two accidents took place in Kazakhstan after break up of Soviet Union (Aksai, 1992 and Aktyubinsk, 2007). Other accidents happened in Russia.

Different sources accidents

Different radionuclide sources are widespread in all sphere of human activity. In the Register 19 accidents with other, non-listed above, sources can be found. There were 29 victims of these accidents with 12 ARS cases and 3 lethal outcomes.

Three accidents at Mayak Plant (1952, 1953 and 1963) were connected with radioactive water leakage; there were 5 ARS victims with 2 lethal outcomes. An accident in Sarov, 1954 characterized with ^{210}Po intake; two people were suffered of internal exposure, one of them developed ARS and died.

Similar accident at the same institute happened in 1968: there were 2 internally exposed people without serious consequences. There was no more lethal case in accidents analyzed in this part. Two accidents with ^{124}Sb source were registered in Arsamas-16, 1955 and in Moscow, 1984. In both cases there was by one not severe exposed victim.

Two accidents with $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ sources took place in Moscow (1984) — one victim, and in Lia — Georgia (2001) — three victims with LRI of different severity; one of Lia accident victim died 2 years later and did not therefore included in statistic of ARS lethality. An accident with ^{104}Rh — source was registered at radiochemical plant in town Seversk (1974) resulted into LRI in one person. An accident of criminal character happened in Riga, Latvian SSR, 1988; a nurse of ontological clinic stole the ^{252}Cf and kept it in the pocket for several hours; surgical operation was necessary for the thigh's LRI treatment.

There is no entire information on the accident at gamma instillation in Moscow, 1969: it is known that exposed person had LRI only.

Accidents at nuclear reactors and criticality accidents

Chernobyl NPP accident, as the most important from the medical consequences point of view, has been already mentioned above. So, in this part of our analysis the information on other 33 nuclear accidents will be presented.

In the document [7] the review of more than 30 criticality accidents had been made by the group of US and Russian scientists and could be regarded as the most significant analysis of the problem. Nevertheless, medical effects of these accidents presented very scanty.

It is necessary to underline that accidents with self-sustained chain reaction (SCR) appeared to be first in the line of ARS study and description and it was shown, for example, that the most severe cases of ARS in man with the very early (within first 49–120 h) lethal outcomes had been observed in criticality accidents only [8, 9].

There are seventeen SCR accidents registered on the former USSR and Russia territory. There were three accidents for the period 1953–1958 years at Mayak Plant (town Osersk) when 12 people in general were overexposed and ARS developed combined with LRI in half of cases; 5 of these patients died at acute stage of disease, including 4 deaths of cardiovascular toxicemic and gastrointestinal radiation syndromes. Also three accidents took place in Obninsk (1954, 1962, 1977). One accident had happened in Ukrainian SSR.

Two criticality accidents had occurred in Tomsk-7 (now — Seversk) in 1963 and 1978. There were 4 victims suffered with ARS; all survived.

Four accidents took place in Moscow, at Kurchatov Institute (1953, 1961 and 1971 twice); there were 15 victims. In all cases ARS was observed, with severe LRI complications in 9 patients. Two victims of last 1971 accident — died of cardiovascular (the dose about 50 Gy) and gastrointestinal radiation syndromes (the dose about 20 Gy) on the 4th and 13th days, correspondently.

There were three patients with ARS resulted from 2 accidents happened in Sarov in 1963 and 1977; one of them died 52 hours since exposure.

One more registered criticality accident (Chelyabinsk-70 or Sungul, 1968) had been resulted into high dose irradiation of two workers. Very severe ARS developed in both cases; one patients died on the 3rd day of cardiovascular syndrome and another — on the 55th day of bone marrow syndrome.

In Kiev (Ukrainian SSR) one SCR-accident had happened at research reactor (1970), and one person was irradiated. He survived severe ARS with very severe LRI.

Other reactor accidents and LRI's incidents at "Mayak" Plant in period 1949 – 1956

This group of accidents differs from all others in scanty information on circumstances and consequences of events. There are data on 9 accidents related to manipulation with fuel rods in which 25 workers had been irradiated, and all of them survived the ARS. During the same period 168 cases of LRI were observed, as it was found owing to medical archive data analysis, made by A.K. Guskova [10]. Detailed analysis of these cases appeared to be impossible.

Several accidents in operations with fuel rods took place in later period of time, as well. They are: Ozersk, 1963; Obninsk, 1969; Novovoronezh NPP, 1969; Kurchatov Institute (Moscow); 1978, Sverdlovsk; 1979. In general there were 7 victims of these accidents, 4 of them with ARS, all patients survived.

There is no complete information about an accident in MSO-99 (1969) where two people were exposed during the work at reactor. It is known only that both developed ARS of mild severity and survived.

The last case in this list is the accident at "Krasnoye Sormovo" plant (1970). It was the sudden discharge of hot steam from reactor happened in the process of nuclear submarine's reconstruction. Five workers were overexposed. Three of them suffered with very severe ARS complicated with severe skin burn of 90 % of body, they died within a month. Two others survived ARS of moderate severity with skin burn of hands.

It is necessary to note that the most number of nuclear accidents had happened before the end 1970, and only 2 accidents of this nature were observed in the later period (1993 and 1997).

Submarine accidents and out of control situations in the time of nuclear weapon testing

There is information on 55 accidents at submarines nuclear reactors and other navy ships happened during 1960–2000 [11].

The information on radiation accidents at submarines and other navy ships can be found in books [11, 12]. Particularly in [11] there is description of an accident on bay Chazhma (1985) and data on victims which was not known previously. It was an explosion with SCR and radioactive substances discharge in the time of submarine nuclear reactor recharging causing by safety rules violation. All ten workers dealing with recharging were killed by explosion. There were 7 more irradiated persons who suffered with ARS mild and moderate severity; they all survived.

Four other submarine accidents are described in [12]. Two of them K-119, 1961 and K-140, 1968 were related with SCR, and had been of most serious: they resulted into 12 lethal outcomes.

The first nuclear reactor counter was damaged in North Navy submarine K-19 accident in 1961, and following necessity for people to enter the reactor compartment despite high level radiation resulted in serious exposure.

As a consequence of that 54 people were exposed externally to gamma-beta radiation and internally contaminated with fission products. Diagnosis of ARS in combination with LRI was confirmed in 30 cases, 8 of these patients died, all other survived.

27.08.1968 submarine K-140 had being repaired at Severodvinsk dock. At the moment of spontaneous raising compensating (balancing) lattice non-predicted power upsurge of the reactor occurred. As a result, 68 people were irradiated. ARS diagnosis was confirmed in 44 patients, four of them died.

Relative to 1979 accident there is short information [12] about four survived ARS victims.

One more accident which was not described previously could be mentioned now. It was extraordinary situation at the time of air nuclear test in Semipalatinsk region 16.03.1956. The team of cinema-operators being engaged in the test filming accompanied with few military men had found their-self on the contaminated territory. The fact was clarified some later when clinical signs of radiation exposure appeared. There were eight victims exposed to gamma-beta radiation. They developed middle degree ARS accompanied with mild skin burns. All survived.

Summarized data on number of accidents and victims of submarine and situations with nuclear weapon tests can be found in Table.

Some other incidents

There are 12 accidents which could not be included into any group regarded above because of their particular features or incompleteness of information about. In general, 17 people were victims of these accidents, among them 7 cases of ARS, 3 with LRI complication; 2 people died. Other ten patients had LRI.

The great majority of patients – victims of accidents analyzed in this article had been treated in clinical department of the Institute of Biophysics, called now A.I.Burnasian FMBC of FMBA of Russia. Their case reports are saved in the clinical archives of FMBC, and the whole medical information in digital form related to each patient has been included into Human Acute Radiation Injuries Database [13]. It is unique information resource for human radiation pathology study and could be useful for physicians as a guide in diagnosis and treatment of acute radiation disease.

Acknowledgment:

Authors express their thanks to A.E. Baranov, I.A. Galstian, I.A. Gusev, V.I. Krasnuk, N.M. Nadezhina for additional information on medical consequences of radiation accidents, analyzed in the paper.

REFERENCES

1. Soloviev V.Yu., Ilyin L.A., Baranov A.E. et al. Radiation Accidents before and after Chernobyl. // In: "One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident", International Conference held in Vienna, 8–12 April 1996, IAEA, Vienna, 1997, Vol. 2, P. 601–607 (Russ.)
2. Soloviev V.Yu., Ilyin L.A., Baranov A.E. et al. Early medical consequences of radiation incidents for a half century period of atomic industry activity. // Bull. Atomic Energy, Sept. 2002, P. 50–52 (Russ.)
3. Soloviev V.Yu., Ilyin L.A., Baranov A.E. et al. Radiation Accidents in the Former U.S.S.R. // In: Medical Management of Radiation Accidents. Second Edition. Edited by I.A. Gusev, A.K. Guskova, F.A. Mettler. – CRC Press Boca Raton London, N.-Y., Washington, D.C. 2001, P. 157–172.
4. Ilyin L.A., Soloviev V.Yu. Early medical consequences of radiation incidents in the former USSR territory // Med. Radiol. and Radiation Safety, 2004, **49**, No. 6, P. 37–48 (Russ.)
5. Guskova A.K. Medical effects of the Chernobyl nuclear power plant accident: major summaries and conclusions // Med. Radiol. and Radiation Safety, 2010, **55**, No. 4, P. 20–31 (Russ.)
6. Soloviev V.Yu., Bushmanov A.Yu., Barabanova A.V. et al. Professional Relation Analysis of Radiation Victims in the Former USSR Territory. // Medical-Biological and Social-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations. 2011, 1, P. 5–9 (Russ.)
7. McLaughlin T., Monahan S., Pruvost K. et al. A Review of Critical Accidents. 2000 Revision. – Los Alamos National Laboratory. LA-1368, May 2000, 142 pp.
8. Barabanova A.V., Bushmanov A.Yu., Soloviev V.Yu. Analysis of the most severe cases of man overexposure in radiation criticality accidents. // Medical-Biol. and Social-Psychol. Issues of Safety in Emergency Situations. 2011, **2**, P. 32–38 (Russ.)
9. Barabanova A., Wiley A., Bushmanov A. Dose-dependent analysis of acute medical effects of mixed neutron-gamma radiation from selected severe ^{235}U or ^{239}Pu criticality accidents in USSR, United States, and Argentina. // Health Phys., 2012, No. 4, P. 391–399
10. Guskova A.K., Akleev A.V., Koshurnikova N.A. The First steps to future together : Atomic Industry and Medicine on South Ural. – Moscow, 2009, 305 pp. (Russ.)
11. Vasilenko V.A., Efimov A.A., Stepanov I.K. et al. Radiation Safety Technology at nuclear energy installations. Ed. by V.A. Vasilenko. – St-Petersburg, NIC Morintech, 2010, 576 pp. (Russ.)
12. Gogin E.E., Emelyanshenko V.M., Benetskij B.A., Filatov V.N. Combined Radiation Damages. – M.: "Izvestiya", 2000, 240 pp. (Russ.)
13. Soloviev V.Yu., Baranov A.E., Barabanova A.V. et al. Acute Radiation Damages of Man Database. Message1. Intellectual Interface as the Main Part of Support System for Diagnostic and Treatment of Acute Radiation Disease // Med. Radiol. and Radiation Safety, 2011, **56**, No. 3, P. 5–13 (Russ.)

Поступила: 31.04.2013

Принята к публикации: 23.05.2013

Н.А. Исаева, Ф.С. Торубаров, З.Ф. Зверева, С.Н. Лукьянова

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА У РАБОТНИКОВ БИЛИБИНСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ИМЕЮЩИХ РАЗЛИЧНУЮ СТЕПЕНЬ РИСКА ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА

N.A. Isaeva, F.S. Torubarov, Z.F. Zvereva, S.N. Lukyanova

Brain Bioelectric Activity of Bilibinsky Atomic Power Station Workers Having Various Degree of Risk of the Ischemic Stroke

РЕФЕРАТ

Цель: Изучить особенности биоэлектрической активности головного мозга по показателям ЭЭГ у работников Билибинской АЭС с различной степенью риска ишемического инсульта.

Материалы и методы: Обследованы 99 работников (75 муж., 24 жен.) Билибинской АЭС с различной степенью риска развития ишемического инсульта, выявленной методом скринингового анализа с использованием 5-факторной Фраммингемской шкалы. ЭЭГ-исследования проводили на электроэнцефалографе-анализаторе ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» («МЕДИКОМ МТД», Таганрог). Анализ ЭЭГ осуществляли визуально с привлечением анализа спектральной мощности биопотенциалов и локализации дипольных источников биоэлектрической активности.

Результаты: При отсутствии риска развития ишемического инсульта ЭЭГ-показатели свидетельствовали о сохранности функций корковых структур с отдельными случаями умеренных отклонений на стволовом уровне. При низкой степени риска (выше популяционного риска не более чем в 2 раза) у половины обследованных выявлялись признаки, свидетельствующие о нарушении механизмов формирования функционального состояния мозга как на корковом, так и стволовом уровнях, с вовлечением таламических и гипоталамических образований (по данным локализации дипольных источников биоэлектрической активности). Сохранялась стабильность работы механизмов, регулирующих функциональную активность мозга (преобладали ЭЭГ с устойчивой динамикой). При средней степени риска ишемического инсульта (выше популяционного риска не более чем в 6 раз) ЭЭГ-признаки нарушения функций корковых структур и стволовых образований диэнцефального уровня нарастали, преобладали ЭЭГ с неустойчивой динамикой. При высокой степени риска ишемического инсульта (выше популяционного риска более чем в 6 раз) ЭЭГ-признаки нарушения механизмов формирования функционального состояния мозга на корковом и стволовом уровнях и нестабильность механизмов, регулирующих функциональную активность мозга, становились доминирующими.

Вывод: Выявленные изменения показателей ЭЭГ могут свидетельствовать о нарушениях функционального состояния мозга, степень выраженности которых пропорциональна риску ишемического инсульта.

Ключевые слова: факторы риска, ишемический инсульт, ЭЭГ

ABSTRACT

Purpose: To study the features of bioelectric activity of a brain on indicators EEG in workers of Bilibinsky NPP with various degree of risk.

Materials and methods: It was an examination of 99 workers (75 men, 24 females) of Bilibinsky NPP with various degree of an ischemic stroke risk level revealed by a method of screening analysis using the 5-factor Framingham's scale. EEG research was done on analyzer EEGA-21/26 Encephalan-131-03 (MTDICOM MTD, Taganrog). Analysis EEG carried out visually with attraction on the analysis of spectral capacity of biopotentials and dipole sources of bioelectric activity localizations.

Results: In the absence of an ischemic stroke risk the EEG-indicators testified the safety of the cortical structures functions, with few cases of moderate deviations at trunk level. At low degree of risk (not more than twice above the population level) at half surveyed the signs testifying the infringement of mechanisms of formation of a functional condition of a brain as on cortical, and on truncal levels, with involving thalamus and hypothalamus the formations (according to dipole sources of bioelectric activity localization) came to light. Stability of work of the mechanisms regulating functional activity of a brain (prevailed EEG with steady dynamics) remained. At average degree of risk (not more than 6 times above population level) EEG signs of infringement of functions cortical structures and truncal formations on diencephalic level accrued, prevailed EEG with unstable dynamics. At high degree of risk (more than 6 times above population level) EEG signs of infringement of mechanisms of formation of a functional condition of a brain on cortical and truncal levels and instability of the mechanisms regulating functional activity of a brain, became dominating.

Conclusion: The revealed changes of indicators EEG can testify the infringements of a functional condition of the brain which degree of expressiveness is proportional to an ischemic stroke risk level.

Key words: risk factors, ischemic stroke, EEG

Введение

Профессиональное здоровье является важнейшим критерием и базовым компонентом оценки профессиональной надежности работников АЭС России.

Профессиональная деятельность работников АЭС связана с высокой степенью ответственности, напряженностью, значительными психическими

нагрузками и контактом с источниками ионизирующего излучения. Высокий уровень здоровья и психофизиологической адаптации является необходимым условием для успешной и надежной профессиональной деятельности работников АЭС и напрямую зависит от функционального состояния головного мозга.

Снижение уровня активности головного мозга может приводить к неэффективному выполнению работниками профессиональных задач, ошибкам в их действиях, и, как следствие, возникновению аварийных ситуаций на объектах использования потенциально-опасных технологий. Проведенные ранее исследования по оценке риска сосудистых заболеваний головного мозга у работников АЭС России [1, 2] показали, что от 33,1 до 72,8 % лиц, работающих в контакте с ионизирующим излучением, имеют повышенный риск возникновения сосудистых заболеваний головного мозга, в т.ч., ишемического инсульта. Сравнение изучаемых факторов риска показало, что ведущими в развитии ишемического инсульта на всех станциях являются уровень систолического давления, курение и гиперхолестеринемия.

Современная система профилактики ишемического инсульта строится на концепции факторов риска, которая основывается на математически верифицированных связях между заболеваниями, синдромами, отдельными симптомами и фактом развития нарушений мозгового кровообращения. Эти связи доказаны, но не всегда раскрывают непосредственные причины декомпенсации церебральной гемодинамики, а лишь указывают на существование определенных условий, при которых инсульт может развиваться [3].

Факторы риска ишемического инсульта являются условиями, которые могут привести к ухудшению функционального состояния организма человека, снижению уровня активности головного мозга, соответственно, надежности и эффективности всех видов деятельности, включая профессиональную [4, 5].

Предполагается, что изучение функционального состояния головного мозга в условиях спокойного бодрствования у работников, имеющих риск ишемического инсульта, будет способствовать раннему выявлению лиц, нуждающихся в проведении мероприятий, направленных на снижение или устранение риска.

Функциональное состояние головного мозга в состоянии спокойного бодрствования по данным ЭЭГ при ишемическом инсульте многократно описано [6, 7], однако практически нет данных о функциональном состоянии мозга при наличии риска ишемического инсульта.

В настоящее время лабораторией радиационной неврологии совместно с психофизиологической лабораторией Центра профпатологии ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России проводится работа по оценке риска развития ишемического инсульта у работников АЭС России. Данная работа является первой публикацией по этой теме с оценкой биоэлектрической активности мозга.

Целью настоящего исследования явилось изучение особенностей биоэлектрической активности головного мозга (по ЭЭГ-показателям) у работников

Билибинской АЭС с различной степенью риска развития ишемического инсульта.

Материалы и методы

Для прогнозирования риска ишемического инсульта в работе использовалась Фрамингемская шкала [3]. Система основана на прогностических таблицах, разработанных для мужчин и женщин разных возрастных групп, начиная с 35 лет, и включает 5 наиболее информативных факторов риска (ФР₊: 1) систолическую артериальную гипертензию (систолическое АД > 140 мм рт. ст.); 2) гиперхолестеринемию (> 5,2 ммоль/л); 3) гипергликемию (> 6,1 ммоль/л); 4) электрокардиографические признаки левожелудочковой гипертрофии; 5) курение (вносится как ФР независимо от количества выкуренных сигарет).

Выделяют различные степени риска ишемического инсульта: 1) низкую — выше популяционного риска не более, чем в 2 раза; 2) среднюю — выше популяционного риска не более, чем в 6 раз; 3) высокую — выше популяционного риска более, чем в 6 раз.

Разработаны медицинские документы и выделены 99 работников Билибинской АЭС с различными степенями риска ишемического инсульта. Средний возраст этих лиц составил 51,9±5,8 лет. Мужчин было 75 человек, женщин 24. В зависимости от степени риска они были разделены на группы: I-я группа — с низким риском ишемического инсульта (30 чел.; 57,5±5,8), II-я группа — со средним риском ишемического инсульта (43 чел.; 54,3±6,1), III-я группа — с высоким риском ишемического инсульта (11 чел.; 51,9±4,3), IV-я группа — сопоставления, где риск не превышал популяционный (15 чел.; 44,2±7,3).

По данным индивидуальной дозиметрии, накопленная за весь период работы доза у работников варьировала от 0,9 до 524 мЗв.

ЭЭГ-исследования проводили на электроэнцефалографе-анализаторе ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (Россия, Таганрог) с использованием программ картирования спектральной мощности биопотенциалов, локализации дипольных источников биоэлектрической активности и визуального анализа по Е.А. Жирмунской [8].

Запись ЭЭГ производилась монополярно с чашечковых электродов, расположенных на поверхности головы в соответствии с международной системой 10–20 в отведениях: лобных (*Fp1*, *Fp2*, *F3*, *F4*, *F7*, *F8*), височных (*T3*, *T4*, *T5*, *T6*), центральных (*C3*, *C4*), теменных (*P3*, *P4*), затылочных (*O1*, *O2*). Референтный электрод располагался на мочке уха, заземляющий — в отведении *Fpz*. Перед началом записи проводилась проверка сопротивления электродов (≤ 5 кОм). Полоса пропускания на каждом канале ЭЭГ регулировалась фильтрами высокой и низкой частоты. Фильтр

высоких частот использовался для исключения из записи высокочастотных помех, устанавливался в диапазоне 30 Гц. Фильтр низких частот, регулируемый изменением постоянной времени, позволял исключить из ЭЭГ артефакты медленных изменений потенциала кожи, изменений потенциала, связанных с незначительными смещениями электродов и изменениями в области контакта между кожей и электродом. Согласно международному стандарту, использовалась постоянная времени, равная 0,3 с. Ввод сигналов в диапазоне ЭЭГ 0,5–30 Гц осуществлялся с частотой квантования 250 Гц.

Регистрация фоновой ЭЭГ производилась в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах в положении сидя в течение 3 минут.

Анализ изменений в ЭЭГ проводили прежде всего визуально, с использованием классификации по Е.А. Жирмунской [8] для оценки типа ЭЭГ. I-й тип ЭЭГ — организованный (вариант электроэнцефалографической нормы, характеризующийся регулярным, хорошо модулированным альфа-ритмом, с выраженными зональными различиями). II-й тип ЭЭГ — гиперсинхронный, характеризующийся усилением синхронизации активности, с высоким индексом регулярных колебаний биоэлектрических потенциалов в диапазоне α - или β - при потере зональных различий. III-й тип ЭЭГ — десинхронный (низкоамплитудная ЭЭГ: α -активность резко снижена при относительном увеличении количества β -колебаний и наличием некоторого количества медленных волн невысокой, низкой или очень низкой амплитуды без зональных различий). IV-й тип ЭЭГ — дезорганизованный, характеризующийся преобладанием нерегулярной по частоте α -активности, усилением β -активности низкой частоты и увеличенной амплитуды; возможно присутствие θ - и δ -волн достаточно высокой амплитуды. V-й тип ЭЭГ — дезорганизованный, характеризующийся преобладанием θ - и δ -активности, слабой представленностью α -активности (колебания биоэлектрических потенциалов мозга регистрируются без четкой последовательности, средней и высокой амплитуды).

Визуальный анализ ЭЭГ дополнялся количественным анализом спектров мощности биоэлектрических потенциалов с картированием. Для спектрального анализа применялся метод быстрого преобразования Фурье по 2048 точкам с использованием окна Парзена. Полученные значения мощности усреднялись в пределах: дельта 1–3 Гц, тета 4–8 Гц, альфа 9–13 Гц, бета-1 13,1–18 Гц, бета-2 18,1–25 Гц-частотных диапазонах.

Поскольку в работе речь идет не об инсультах, а только о риске их возникновения, при анализе ЭЭГ мы ориентировались на имеющиеся данные литературы [12] о возможных ЭЭГ-коррелятах пограничных проявлений при нарушении функциональной актив-

ности головного мозга. Использовались ЭЭГ-показатели, применяемые в неврологической практике [9,10].

Изучали следующие показатели ЭЭГ:

1. Тип ЭЭГ [7] — характеризует функциональное состояние мозга, свидетельствуя о его нормальной работе (тип I), незначительном нарушении (типы II–III), либо наличии аномальных проявлений (тип IV). ЭЭГ V типа, представляющий патологическую активность, в работе не рассматривается, т.к. у данного контингента обследуемых он не наблюдался [8].

2. Динамика ЭЭГ — отражает устойчивость/неустойчивость паттерна ЭЭГ за короткий промежуток времени (1 мин), что характеризует функциональную активность мозга с точки зрения устойчивости нервных процессов [10, 11]. Паттерн ЭЭГ признавался неустойчивым при чередовании в фоновой записи периодов десинхронизации (наличия β -колебаний при практическом отсутствии α -волн) с периодами регистрации α -активности (не менее 3–4 чередований в течение 1 мин). По данным литературы, неустойчивость паттерна ЭЭГ может быть ранним признаком сосудистой недостаточности [9] и является основным ЭЭГ коррелятом развития невроза [11].

3. Характеристика низкочастотной бета-активности (β_1) — наличие в фоновой записи спонтанно возникающих β -колебаний частотой 13,1–18 Гц. Показатель отражает функциональное состояние диэнцефальных структур головного мозга (главным образом, неспецифических ядер таламуса). Высокий индекс β_1 в ЭЭГ свидетельствует об аномальных проявлениях в функциональной активности мозга [12–14].

4. Наличие вспышек билатерально-синхронизированной активности (пароксизмальная активность) является признаком дисфункции стволовых структур головного мозга при условии локализации дипольных источников этой активности в образованиях ствола.

Для обработки материала применялась статистическая программа BIOSTAT. Использовался критерий χ^2 , уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты

Результаты оценки показателя «Тип ЭЭГ» у работников Билибинской АЭС с риском ишемического инсульта и лиц группы сопоставления по показателю «Тип ЭЭГ» представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что в группе сопоставления преобладали ЭЭГ III-го типа (46,7 %), при котором α -активность резко снижена или отсутствует, относительно увеличена β -активность и отмечается небольшое количество медленных волн низкой амплитуды, регистрирующихся без зональных различий. Реже отмечались I-й тип ЭЭГ (организованный, или вариант

нормы) и II-й тип ЭЭГ (гиперсинхронный, характеризующийся высоким индексом регулярных колебаний при потере их зональных различий) — 20,0 % и 13,3 % соответственно.

В совокупности это свидетельствовало о нормальном функционировании ЦНС [8–10]. IV-й тип ЭЭГ (дезорганизованный, для которого характерно наличие нерегулярной по частоте α -активности, усиление низкочастотной β -активности и наличие θ - и δ -волн, которые по своим частотно-амплитудным характеристикам не выходили за пределы нормы) отмечался в этой группе в 20,0 % наблюдений.

Следует отметить, что у лиц с риском ишемического инсульта в 3–4 раза чаще, чем у лиц группы сопоставления, выявлялся IV-й тип ЭЭГ. Он характеризовался дезорганизованной альфа-активностью (нерегулярной по частоте — 9,1–12,5 Гц, неравномерной по амплитуде — 42,4–63,1 мкВ, регистрирующейся без четких зональных различий); усилением низкочастотной и высокоамплитудной β -активности (13,5–17,2 Гц, 21,2–30,1 мкВ), представленной диффузно, либо с преобладанием в лобно-центральных отведениях; наличием медленноволновой активности θ - и δ -диапазонов (θ — 4,2 — 7,8 Гц, 33 — 37 мкВ; δ — 2,3 — 7,5 Гц, 34–41 мкВ), регистрирующейся диффузно, либо с преобладанием в лобных и передне-височных отведениях. Частота выявления этого типа ЭЭГ нарастала по мере возрастания степени риска (63,4 % — при низком риске, 67,5 % — при среднем, 81,8 % — при высоком). Это свидетельствовало о нарастании изменений в функциональной активности мозга по мере увеличения степени риска ишемического инсульта.

Результаты оценки показателя «Динамика ЭЭГ». Полученные данные представлены в табл. 2.

В группе сопоставления преобладали устойчивые паттерны ЭЭГ (80,0 %), что свидетельствовало о стабильности, устойчивости нервных процессов [6]. В группах с риском ишемического инсульта достоверно преобладали ($p < 0,05$) неустойчивые паттерны ЭЭГ. Число их увеличивалось по мере повышения степени риска: 23,3 % — при низком риске, 60,5 % — при среднем, 81,8 % — при высоком. Это свидетельствовало о снижении устойчивости нервных процессов по мере увеличения риска ишемического инсульта.

Результаты оценки ЭЭГ по показателю «Характеристика низкочастотной бета-активности (β_1)» у обследованных представлены в табл. 3.

При наличии риска содержание низкочастотной β_1 -активности в спектре ЭЭГ повышалось ($p < 0,05$) независимо от его степени. Так, в группе сопоставления низкочастотная β_1 -активность выявлялась в 51,8 % наблюдений, в группе с низким риском — в 80,0 %, со средним риском — в 90,7 %, с высоким

риском — в 90,9 % ($p < 0,05$). Такая картина свидетельствовала об усилении признаков дисфункции диэнцефальных структур головного мозга (преимущественно, неспецифических ядер таламуса) при наличии риска ишемического инсульта.

Результаты оценки ЭЭГ по показателю «Наличие всплеск билатерально-синхронной активности» у обследованных представлены в табл. 4.

Электроэнцефалографические паттерны лиц группы сопоставления характеризовались отсутствием всплеск билатерально-синхронизированной активности в подавляющем числе наблюдений (80 %). В группах с риском ишемического инсульта число лиц со всплесками билатерально-синхронизированной активности, дипольные источники которой локализовались в средних, либо средних и верхних отделах ствола (рис. 1), возрастало по мере увеличения степени риска (33,3 % — в группе с низким риском, 60,5 % — со средним риском, 63,6 % — с высоким). Это свидетельствовало о нарастании признаков дисфункции стволовых структур головного мозга по мере увеличения степени риска.

Сравнительная характеристика выраженности изучаемых показателей ЭЭГ у обследованных с различной степенью риска ишемического инсульта представлена на рис. 2. Рисунок демонстрирует сопоставление показателей ЭЭГ, характеризующих изменения функциональной активности мозга.

В группе сопоставления признаки, характеризующие аномальные изменения функциональной активности мозга — IV-й тип ЭЭГ, неустойчивость паттерна, наличие всплеск билатерально-синхронизированных волн — выявлялись в небольшом проценте наблюдений — по 20 %, что не являлось достоверным по группе обследованных. Достоверным по группе обследованных было только наличие в 51,8 % наблюдений низкочастотной β_1 активности, что соответствовало норме.

При наличии риска ишемического инсульта возрастала доля каждого из этих признаков аномальных изменений функциональной активности мозга.

В группе I показатели «Динамика ЭЭГ» и «Наличие всплеск билатерально-синхронной активности» по проявлению в процентах достоверно не отличались от соответствующих показателей в группе сопоставления, тогда как количество обследованных с наличием IV-го типа ЭЭГ и повышением количества β_1 -активности — достоверно возрастало.

В группе II IV-й тип ЭЭГ, неустойчивые паттерны и ЭЭГ с наличием всплеск билатерально-синхронной активности достоверно преобладали, отмечаясь более чем в 60 % наблюдений. Повышенное количество β_1 -активности выявлялось у большинства — в 90,7 % наблюдений.

Таблица 1

Показатель «Тип ЭЭГ» (в %) у работников Билибинской АЭС в различных группах

Типы ЭЭГ	Группы			
	I низкий риск (n = 30)	II средний риск (n = 43)	III высокий риск (n = 11)	IV сопоставления (n = 15)
I	0*	0*	0*	20,0 %
II	3,3 %*	2,3 %*	0	13,3 %
III	33,3 %	30,2 %	18,2 %*	46,7 %
IV	63,4 %	67,5 %	81,8 %*■	20,0 %

Примечание:

Достоверные различия по критерию χ^2 ($p < 0,05$):

* – с группой IV (сравнения); ■ – с группой I (низкий риск)

Таблица 2

Показатель «Динамика ЭЭГ» (в %) у обследованных различных групп, %

Динамика ЭЭГ	Группы			
	I низкий риск (n = 30)	II средний риск (n = 43)	III высокий риск (n = 11)	IV сопоставления (n = 15)
Устойчивый паттерн	76,7 %	39,5 %*■	18,2 %*	80,0 %
Неустойчивый паттерн	23,3 %	60,5 %*	81,8 %*•	20,0 %

Примечание:

Достоверные различия по критерию χ^2 ($p < 0,05$):

* – с группой IV (сравнения); ■ – с группой I (низкий риск); • – с группой II (средний риск)

Таблица 3

Показатель «Характеристика низкочастотной бета-активности» у лиц обследованных групп, %

Характеристика низкочастотной бета активности (β_1)	Группы			
	I низкий риск (n = 30)	II средний риск (n = 43)	III высокий риск (n = 11)	IV сопоставления (n = 15)
нет или незначительное кол-во	20, % *	9,3 %*	9,1 %*■	48,2 %
значительное кол-во	80,0 %*	90,7 %*	90,9 %*	51,8 %

Примечание:

Достоверные различия по критерию χ^2 ($p < 0,05$):

* – с группой IV (сравнения); ■ – с группой I (низкий риск)

Таблица 4

Показатель «Наличие вспышек билатерально-синхронной активности» у обследованных

Наличие вспышек билатерально-синхронной активности	Группы			
	I низкий риск (n = 30)	II средний риск (n = 43)	III высокий риск (n = 11)	IV сопоставления (n = 15)
нет или незначительное кол-во	66,7 %	39,5 %*	36,4 %*	80,0 %
значительное кол-во	33,3 %	60,5 %*■	63,6 %*■	20,0 %

Примечание:

Достоверные различия по критерию χ^2 ($p < 0,05$):

* – с группой IV (сравнения); ■ – с группой I (низкий риск)

В группе III признаки аномальных изменений функциональной активности мозга доминировали, отмечаясь в 81,8 % – 90,9 % наблюдений (рис. 2)

Показатели: «IV тип ЭЭГ», «Динамика ЭЭГ» (неустойчивость паттерна ЭЭГ), «Наличие вспышек билатерально-синхронной активности» – по количественной характеристике обследованных достоверно возрастали ($p < 0,05$) по мере увеличения степени риска ишемического инсульта (рис. 2).

Показатель «Характеристика низкочастотной бета активности (β_1)» значительно увеличивался уже при низкой степени риска ишемического инсульта и оставался на таком же уровне при средней и высокой степенях риска (рис. 2).

Таким образом, изучение ЭЭГ показателей у работников АЭС, имевших риск ишемического инсульта, показало наличие отклонений в функциональном состоянии мозга (в условиях спокойного бодрствования), которые нарастали по мере увеличения степени риска.

Обсуждение

Современная медицина поддерживает концепцию факторов риска как возможных причин развития и прогрессирования мультифакториальных заболеваний, в том числе, заболеваний сердечно-сосудистой системы, к которым относится ишемический инсульт [15, 16]. Согласно этим представлениям, факторы ри-

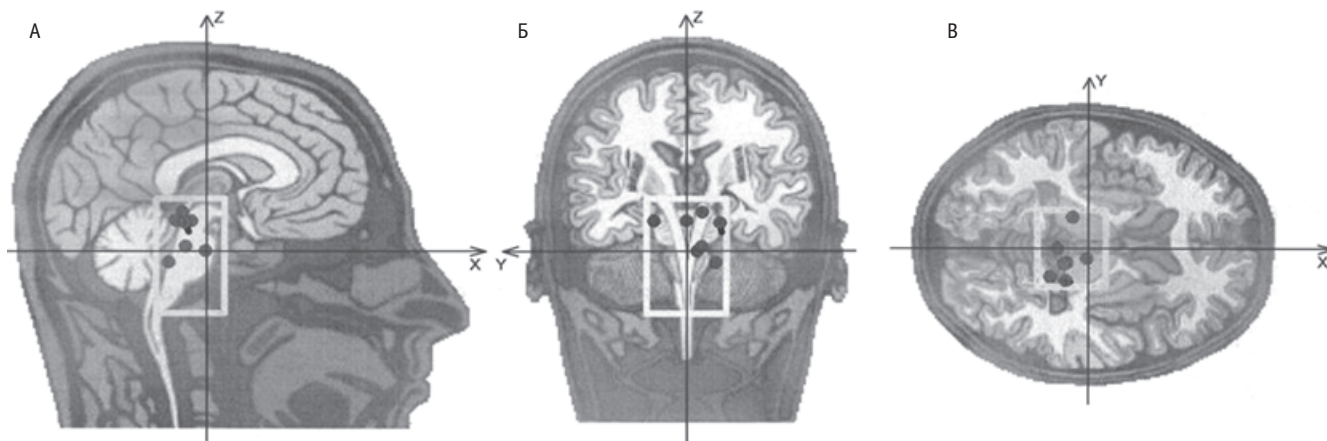


Рис. 1. Пример локализации источников электрической активности мозга в структурах ствола (обследуемый С-в, 53 л., с высокой степенью риска ишемического инсульта): А — латеральная проекция; Б — фронтальная проекция; В — горизонтальная проекция

ска развития ишемического инсульта одновременно могут провоцировать возникновение заболевания.

Для выявления возможных нарушений в функциональном состоянии мозга (в условиях спокойного бодрствования человека) при наличии риска ишемического инсульта ЭЭГ-показатели обследуемых с разной степенью риска были сопоставлены с показателями лиц, риск ишемического инсульта которых не превышал популяционный. В итоге статистическая оценка результатов показала наличие аномальных изменений функциональной активности мозга, которые коррелировали со степенью риска ишемического инсульта.

При отсутствии риска ишемического инсульта выше популяционного ЭЭГ-показатели свидетельствовали о сохранности функций структур мозга, с отдельными случаями умеренных отклонений на стволовом уровне в виде повышения низкочастотной $\beta 1$ -активности.

При низкой степени риска у половины обследованных выявлялись некоторые признаки, свидетельствующие о нарушении механизмов формирования функциональной активности мозга в условиях спокойного бодрствования в виде усиления индекса низкочастотной $\beta 1$ -активности. Вместе с тем, сохранялась стабильность механизмов, регулирующих постоянство функциональной активности мозга в условиях спокойного бодрствования обследуемого (преобладали ЭЭГ с устойчивой динамикой).

При средней степени риска ишемического инсульта ЭЭГ-признаки нарушения функций корковых структур и стволовых образований нарастали (IV-й тип ЭЭГ со вспышками билатерально-синхронизированной активности регистрировался уже у более 60 % обследуемых), нарушалась стабильность

механизмов, регулирующих постоянство функциональной активности мозга в условиях спокойного бодрствования обследуемого (преобладали ЭЭГ с неустойчивой динамикой).

При высокой степени риска ЭЭГ-признаки, свидетельствующие о нарушении механизмов формирования и регуляции функциональной активности мозга (в условиях спокойного бодрствования) становились доминирующими характеристиками. В 80 % наблюдений выявлялся IV-й тип ЭЭГ со вспышками билатерально-синхронизированной активности (дипольные источники локализовались преимущественно в средних отделах ствола), с высоким индексом низкочастотной $\beta 1$ -активности и неустойчивой динамикой.

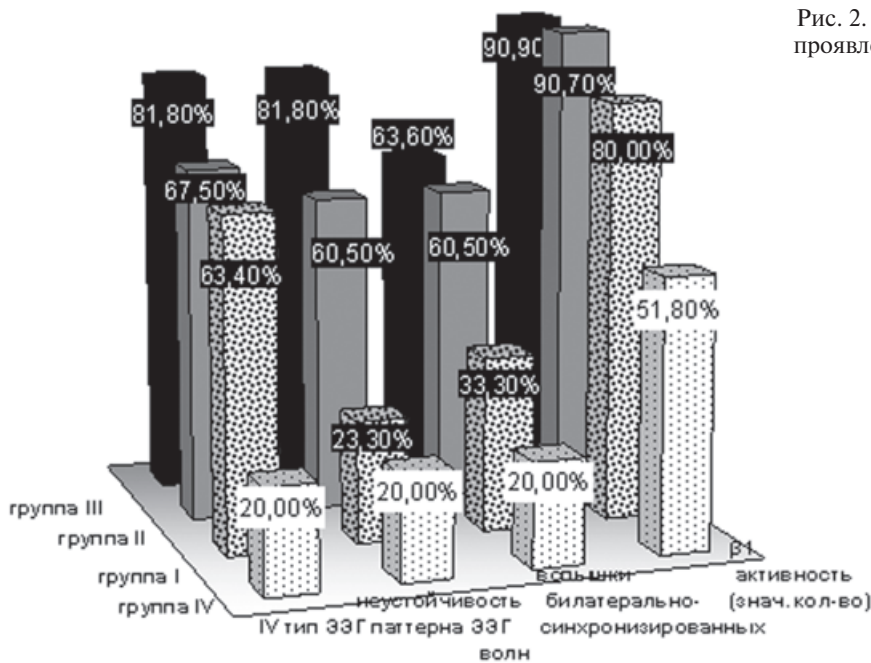
Из приведенных данных следует, что ЭЭГ-показатели демонстрировали нарастание аномальных изменений с увеличением риска ишемического инсульта. Показатели в виде: учащения регистрации ЭЭГ IV-го типа, увеличения признаков дисфункции стволовых структур и учащения их выявляемости — при возрастании степени риска ишемического инсульта являются характерными проявлениями сосудистой патологии головного мозга ишемического генеза [9, 10, 17].

Заключение

Выявленные изменения показателей ЭЭГ могут свидетельствовать о нарушениях функциональной активности мозга, степень выраженности которых возрастала с повышением риска ишемического инсульта.

Эти особенности ЭЭГ следует учитывать при диагностике сосудистых заболеваний головного мозга, особенно на начальных этапах заболевания.

Рис. 2. Количество лиц (в %) с аномальными проявлениями ЭЭГ в обследованных группах



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение и сравнительная оценка риска ишемического инсульта головного мозга у персонала атомных электростанций, разработка комплекса лечебно-оздоровительных мероприятий и создание базы данных: отчет о НИР (промежуточ.): Инсульт / ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Инв. № Ц – 211. – М., 2010, 122 с.
2. Изучение и сравнительная оценка функциональных резервов персонала атомных электростанций с риском ишемического инсульта и разработка рекомендаций по раннему выявлению дезадаптационных нарушений: отчет о НИР (промежуточ.): Инсульт – 1. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Инв. № Ц – 411. – М., 2012, 101 с.
3. Wolf P.A., D'Agostino R.B., Balander A.J., Kannel W.B. Probability of stroke: a risk profile from the Framingham Study. // Stroke. 1991, 22: 312–18.
4. Кузьменко В.М. Распространенность и некоторые особенности профилактики цереброваскулярных заболеваний у лиц разного возраста // Пробл. старения и долголетия, 2001, 10, № 4, С. 401–409.
5. Условия труда как фактор риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. // Вестник РАМН, 2003, №12, С. 10–13.
6. Гусев Е.И., Скворцова В.И. Ишемия головного мозга. – М.: Медицина, 2000, 328 с.
7. Гусев Е.И. Проблема инсульта в России. // Жур. неврологии и психиатрии им.С.С. Корсакова (ИНСУЛБТ. Приложение к журналу), 2003, №9, С. 3–7.
8. Жирмунская Е.А. Клиническая электроэнцефалография. – М., Мэйби, 1991, 77 с.
9. Жирмунская Е.А. Электроэнцефалографическая характеристика дисциркуляторной энцефалопатии. // Журн. неврологии психиатрии им. С.С.Корсакова, 1991, 91, № 1, С. 35–41.
10. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография. – Изд-во Таганрогского Ун-та, 1996, 358 с.
11. Лукьянова С.Н. Биоэлектрическая активность коры и некоторых подкорковых образований при экспериментальном неврозе// ЖВНД, 1976, XXVI, № 3, С. 539–547.
12. Болдырева Г.Н. Электрическая активность мозга при поражении дизэнцефальных и лимбических структур. – М.: Наука, 2000, 181 с.
13. Латаш Л.П. Гипоталамус. Приспособительная активность и электроэнцефалограмма, – М., Наука, 1978, 295 с.
14. Поворинский А.Г. Структурные изменения ЭЭГ и некоторые механизмы внутрицентральных отношений, складывающиеся при поражении ретикулярной формации ствола головного мозга человека. // В кн.: «Физиология и патофизиология лимбикоретикулярной системы». – М., 1971. С. 75–80.
15. Вейн А.М., Воробьева О.В., Дюкова Г.М. Стресс, депрессия и психосоматические заболевания. – М.: 2004.
16. Виленский Б.С. Инсульт. – СПб.: Ленато, 1995, 287 с.
17. Рухманов А.А. Дисциркуляторная энцефалопатия при гипертонической болезни и атеросклерозе (клинические, электроэнцефалографические и компьютерно-томографические исследования): Автореф. дис. д-ра мед. наук. – М.: 1991, 42 с.

Поступила: 01.03.2013

Принята к публикации: 23.05.2013

И.А. Галстян, Н.М. Надежина

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ, ВЫЖИВАЕМОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ СМЕРТИ В ОТДАЛЕННЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ПЕРЕНЕСЕННОЙ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

I.A. Galstyan, N.M. Nadejina

Life Expectancy, Survival Rate and the Main Causes of Death in the Late Period of the Acute Radiation Syndrome

РЕФЕРАТ

Цель: Оценка продолжительности жизни, выживаемости, смертности и причин смерти больных, перенесших острую лучевую болезнь (ОЛБ) различной степени тяжести.

Материал и методы: Анализ подвергнуты результаты длительного (от 4 до 56 лет, в среднем $19,7 \pm 1,8$ лет) наблюдения 152 мужчин и 5 женщин, перенесших ОЛБ различной степени тяжести. В работе использовались методы описательной статистики, сравнение выборок, анализ таблиц сопряженности, оценка Каплана–Мейера частоты выживания больных. Статистическая обработка результатов исследования производилась при помощи стандартных программ BIOSTAT, для оценки достоверности различия использовались z-критерий, лог-ранговый критерий и t-критерий Стьюдента. Уровень статистической значимости принят равным 0,05. Среднегрупповые показатели представлены в виде $M \pm m$.

Результаты: К настоящему времени умерли 60 из 157 (38,2 %) человек, перенесших ОЛБ различной степени тяжести за период наблюдения. Средняя продолжительность жизни (средний возраст в момент смерти) — $58,9 \pm 1,6$ лет. Основными причинами смерти являются сердечно-сосудистые заболевания (45 %) и злокачественные новообразования (29 %). При этом в совокупности онкологических причин смерти доля онкогематологических заболеваний (12 %) значительно превышает таковую для населения России. Третье место в структуре причин смерти больных, перенесших ОЛБ, занимают заболевания печени — 8 %. Выживаемость и причины смерти больных, перенесших ОЛБ I, ОЛБ II, ОЛБ III–IV степени тяжести не различаются. После аварии больные, перенесшие ОЛБ, живут в среднем в течение 26 лет.

Выводы: 1. Продолжительность жизни в отдаленные сроки у больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести, достоверно не отличается от продолжительности жизни необлученного мужского населения России. Медиана выживаемости независимо от степени тяжести перенесенного заболевания — 26 лет. 2. Наиболее частыми причинами смерти в отдаленные сроки после перенесенной ОЛБ, так же, как и среди населения России являются болезни сердечно-сосудистой системы и онкологические заболевания. 3. Следствием характерного стохастического эффекта облучения является значительное по сравнению с необлучаемым населением России увеличение доли (до 12 %) смертей от онкогематологических заболеваний. 4. Отмечается увеличение до 8 % доли смертей от хронических заболеваний печени.

Ключевые слова: острая лучевая болезнь, продолжительность жизни, выживаемость, причины смерти

ABSTRACT

Purpose: To study the life duration, survival time, mortality and causes of death of the ARS survivors.

Material and methods: Results of long (from 4 to 56 years, in average: 19.7 ± 1.8 years) supervision of 152 men and 5 women (ARS survivors) are subjected to the analysis. Statistical analysis of results was made by means of the standard BIOSTAT programs. Level of the statistical importance is accepted equal 0.05.

Results: 60 of 157 (38.2 %) ARS survivors have died for the period of supervision. It was found that average life duration (middle age at the moment of death) — 58.9 ± 1.6 years. The main causes of death were cardiovascular diseases (45 %) and malignant neoplasm (29 %). Thus in aggregated oncological causes of death the part of hematological neoplasm made up 12 % and it appeared to be considerably higher the corresponding population level in Russia. The third place in the causes of death structure was occupied with liver diseases — 8 %. There was no difference in survival time and causes of death of the patients dependently on the ARS severity. In average it was about 26 years since the accident.

Conclusions: 1. Life duration in the late terms of the ARS survivors authentically doesn't differ from life duration of the non-irradiated human population of Russia and appeared to be about — 26 years after the accident irrespective on the ARS severity. 2. The most frequent causes of death in the late terms after ARS, as well as, in the general population of Russia were diseases of cardiovascular system and neoplasm. 3. The share of death from hematological neoplasm — 12 %. 4. The increase to 8 % of a share of death from the chronic diseases of a liver connected, as with hospital infection by viruses of hepatitis B and S, as with abuse of alcohol owing to social and psychological disadaptation of patients.

Key words: acute radiation syndrome, life expectancy, survival, reasons for death

Введение

Яркие клинические проявления острой лучевой болезни (ОЛБ), значительная смертность в периоде основных клинических проявлений при ее тяжелой и крайне тяжелой формах, высокая степень инвалидизации в отдаленные сроки наблюдения за больными, перенесшими ОЛБ в сочетании с тяжелыми местными лучевыми поражениями (МЛП), создают впечатление, что это заболевание наносит невосполнимый ущерб здоровью пострадавшего и должно значительно укорачивать продолжительность жизни.

Продолжительность жизни и смертность являются важными показателями здоровья различных групп лиц, позволяющими сопоставлять эти группы с населением страны. В целом для популяции продолжительность жизни — обобщающая характеристика соответствующего уровня смертности во всех возрастах, т.е. число лет, которое в среднем предстояло бы прожить одному человеку из поколения, родившемуся при условии, что на протяжении всей жизни этого поколения уровень смертности в каждом возрасте остается таким, как в тот год, для которого вычислен этот показатель [1]. В 2011 г. ожидаемая продолжительность жизни для всего населения России составила 70,3 года, у мужчин — 64,3 [www.inosmi.ru/social/20120208/185295016.html].

У контингентов населения, подвергавшихся хроническому профессиональному облучению на ранних этапах использования источников ионизирующего излучения в медицине и на предприятиях атомной промышленности, обнаружено укорочение продолжительности жизни, обусловленное разными причинами, в том числе более частым развитием новообразований, лейкозов, дегенеративных изменений органов и тканей, инфекционных осложнений и др. [2–7]. Однако большая доступность квалифицированной медицинской помощи для жителей японских городов, переживших атомную бомбардировку, и работников предприятий атомной промышленности разных стран по сравнению с необлучаемым населением в настоящее время привели к увеличению продолжительности жизни и снижению общей смертности, несмотря на повышенную онкологическую заболеваемость, а также за счет улучшения социальных условий жизни, проведения эффективной медицинской диспансеризации и патронажа [3, 8].

Если предполагается, что перенесенное заболевание без специфического лечения может приводить в отдаленные сроки к смерти больного, то для характеристики ущерба, нанесенного организму, используются актуаральные расчеты выживаемости (оценка вероятности выжить как функция времени, начиная с даты установления диагноза). Оценка выживаемости — это расчет кумулятивной доли выживших боль-

ных к началу соответствующего временного интервала. Поскольку вероятность выживания считаются независимыми на разных интервалах, эта доля равна произведению долей выживших пациентов по всем предыдущим интервалам. Расчет этой характеристики в настоящей работе позволяет сопоставить между собой длительность жизни в отдаленные сроки больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести.

Целью настоящего исследования явились оценка продолжительности жизни, выживаемости, смертности и причин смерти больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести.

Материал и методы

Архив клинического отдела ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна располагает сведениями о 152 мужчинах и 5 женщинах, перенесших ОЛБ. Многие больные продолжают госпитализироваться для обследования и в настоящее время. Часть больных потеряна для наблюдения. Для некоторых судьбы прослежены до момента смерти. Часть сведений была получена в результате мероприятий по розыску потерянных больных и сбору доступных медицинских сведений о состоянии их здоровья или в случае смерти пациента — данных об основной причине смерти. Информация о 83 больных была получена из учреждений России и 74 — из стран СНГ. С учетом полученных данных длительность наблюдения варьирует от 4 до 56 лет (в среднем $19,7 \pm 1,8$ лет). В настоящее время жизненный статус неизвестен для 13 человек (8,3 %).

В работе использовались методы описательной статистики, сравнение выборок, анализ таблиц сопряженности, оценка Каплана–Мейера частоты выживания больных, построение цензурированных кривых выживаемости. Статистическая обработка результатов исследования производилась при помощи стандартных программ BIOSTAT, для оценки достоверности различия использовались z-критерий, лог-ранговый критерий и t-критерий Стьюдента. Уровень статистической значимости принят равным 0,05. Среднегрупповые показатели представлены в виде $M \pm m$ [9].

Результаты и обсуждение

Продолжительность жизни и основные причины смерти больных, перенесших ОЛБ. В настоящее время мы располагаем сведениями о причинах смерти 60 из 157 (38,2 %) человек, перенесших ОЛБ различной степени тяжести, за период наблюдения $19,7 \pm 1,8$ лет (табл. 1, рис. 1). Средняя продолжительность жизни (средний возраст в момент смерти) — $58,9 \pm 1,6$ лет.

Таблица 1

**Основные причины смерти больных ОЛБ, находившихся под наблюдением
клинического отдела ФМБЦ им. А.И.Бурназяна**

Причина смерти	Количество умерших (гамма-бета/гамма-нейтронное)	Возраст умерших, лет	Время после аварии, лет
Заболевания сердечно-сосудистой системы	27 (18/9)	62,8±2,5 (34–88)	24,0±2,6 (4–47)
Онкогематологические заболевания	7(7/0)	50,7±4,3 (34–66)	16,7±3,9 (7–38)
Солідные новообразования	10 (6/4)	64,1 ± 2,5 (53–76)	31,3 ± 3,4 (17–51)
Заболевания печени	5 (4/1)	47,6 ± 1,8 (44–54)	17,6 ± 3,4 (9–27)
Заболевания легких	3(3/0)	58,0 ± 11,2 (43–80)	9,3±4,9(1–18)
Травма	2(2/0)	51–53	9–16
Другие	6(4/2)	54,8 ± 6,9 (38–72)	18,8 ± 4,8 (10–32)
Все умершие	60	58,9 ± 1,6 (34–88)	22,3 ± 1,6 (1–51)

У лиц, выживших после радиационных аварий, основными причинами смерти, как и у населения страны в целом, являются сердечно-сосудистые заболевания (45 %) и злокачественные новообразования (29 %) [1, 10]. При этом в совокупности онкологических причин смерти доля, относящаяся к солидным опухолям, невелика и сопоставима с подобным показателем необлучаемого населения России – 17 %, в то время как доля онкогематологических заболеваний – 12 % – значительно превышает таковую для населения России [10]. Третье место в структуре причин смерти больных, перенесших ОЛБ, занимают заболевания печени – 8 % (табл. 1, рис. 1).

Средний возраст умерших $58,9 \pm 1,6$ лет, что статистически достоверно не отличается от возраста умерших сотрудников ПО «Маяк» $61,3 \pm 2,6$ лет и несколько ниже ожидаемой продолжительности жизни у мужчин России в 2011 г. – 64,3 лет [www.inosmi.ru/social/20120208/185295016.html].

Выживаемость больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести. Т. к. больные, выжившие после перенесенной ОЛБ, различались по степени тяжести перенесенного заболевания, можно предположить,

что ОЛБ тяжелой и крайне тяжелой (III и IV) степени наносит наибольший ущерб здоровью, что должно отражаться на выживаемости этих пациентов по сравнению с больными, перенесшими ОЛБ меньшей степени тяжести. С целью подтверждения этой гипотезы проведено изучение цензурированных кривых выживаемости больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести (I, II, III–IV). Анализ были подвергнуты данные обо всех больных независимо от наличия сведений об их смерти, т.е. когда интересующая нас конечная точка была или неизвестна, или не наблюдалась. При анализе выживаемости записывалась длина временного промежутка между временем, когда больной участвовал в радиационной аварии, и датой последнего текущего обследования или смертью.

Значения оценок Каплана–Мейера частоты выживания в течение 44 лет больных, перенесших – ОЛБ I степени тяжести ($n = 68$) – 15 % (95 % доверительный интервал (ДИ) – 6–23 %),
– ОЛБ II степени тяжести ($n = 64$) – 8 % (95 % ДИ – 1–14 %),
– ОЛБ III–IV степени тяжести ($n = 26$) – 3 % (95 % ДИ – 0–10 %).

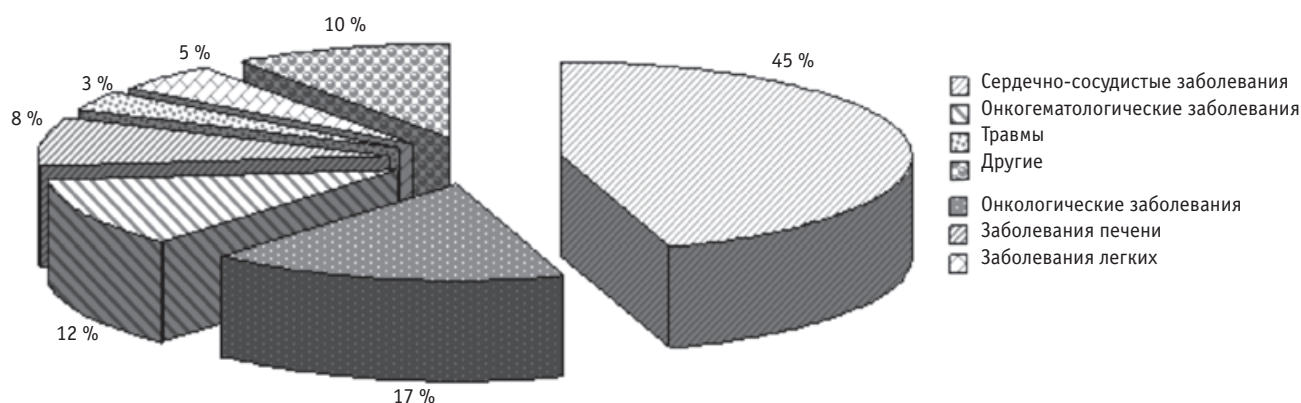


Рис. 1. Структура причин смерти в отдаленные сроки среди больных, перенесших ОЛБ

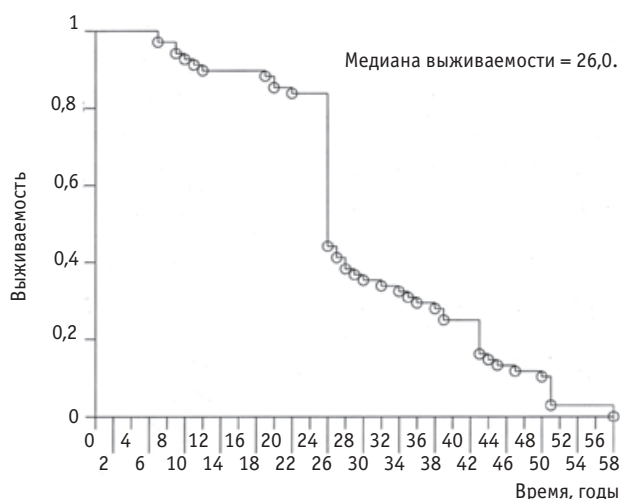


Рис. 2. Выживаемость больных, перенесших ОЛБ I степени

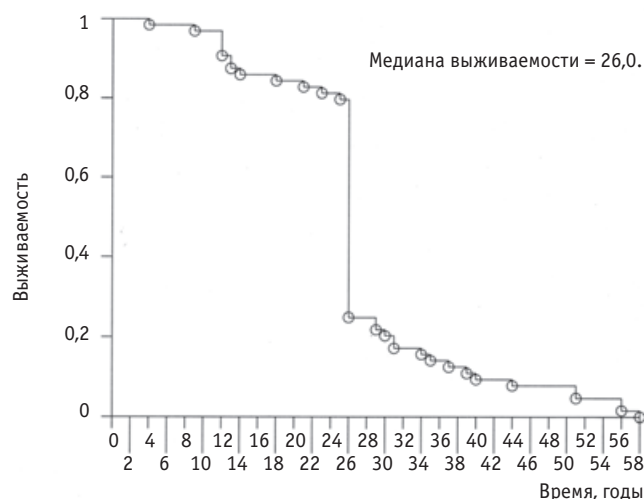


Рис. 3. Выживаемость больных, перенесших ОЛБ II степени

Кривые выживаемости анализируемых трех групп представлены на рис. 2–4.

Полученные данные свидетельствуют, что по выживаемости группы больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести, не различаются между собой. Во всех трех группах медиана выживаемости (продолжительность жизни 50 % больных) составила 26 лет (рис. 2–4).

Лог-ранговый критерий, используемый для сравнения кривых выживаемости групп, перенесших ОЛБ I, ОЛБ II и ОЛБ III–IV, статистических значимых различий между группами не выявил.

Полученные данные свидетельствуют, что выживаемость больных, перенесших ОЛБ I, ОЛБ II, ОЛБ III–IV степени тяжести, не различается. В среднем после аварии больные, перенесшие ОЛБ, живут в течение 26 лет.

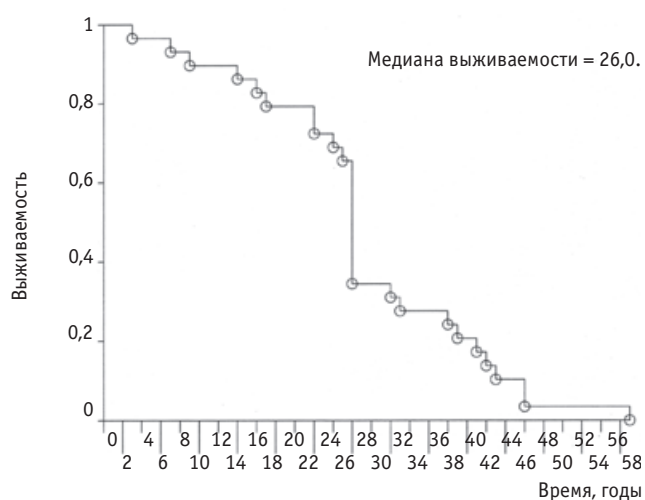


Рис. 4. Выживаемость больных, перенесших ОЛБ III–IV

Причины смерти больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести. Смерти от онкогематологических заболеваний (12 %) наблюдались только у больных, подвергшихся воздействию относительно равномерного гамма-бета облучения. Такого учащения онкогематологических заболеваний не наблюдалось при воздействии гамма-нейтронного и гамма-излучения. По своей проникающей способности бета-фракция ионизирующего излучения, как правило, не может оказывать самостоятельного воздействия на кроветворение. Соответственно, костный мозг подвергался облучению только за счет глубоко проникающего гамма-излучения. Отличительной особенностью гамма-бета-аварий по сравнению с другими видами аварийных ситуаций являлась относительная равномерность гамма-бета-воздействия, с чем, возможно, и связано увеличение количества онкогематологических заболеваний.

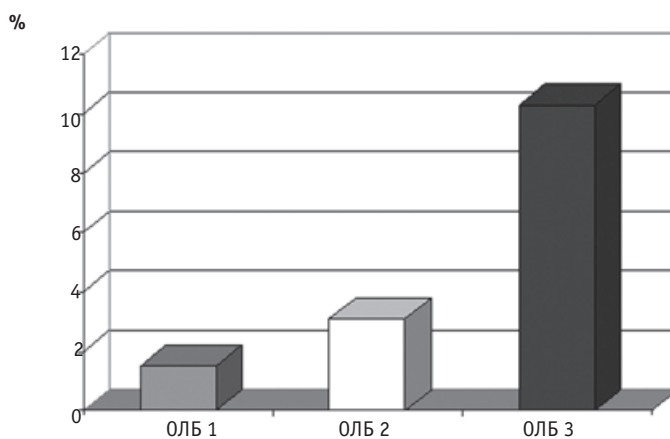


Рис. 5. Частота смерти от онкогематологических заболеваний в группах больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести

Ионизирующая радиация, поражая геном клетки кровяного микроокружения, может вызывать мутации, которые проявляются значительно позже в форме выраженного дефицита стволовых кровяных клеток и неполноценности микроокружения [10]. Собственно индуцирующее действие радиации в развитии лейкоза заключается в возникновении нерепарируемого дефекта хромосомного аппарата клетки, сохраняющей способность к пролиферации и дающей в дальнейшем начало патологическому клону. При равномерном облучении вероятность образования и реализации подобного дефекта значительно увеличивается. При этом в дальнейшем опухолевый клон уже формируется под действием факторов нелучевой природы [10].

Однако нельзя полностью исключить и то, что значительное учащение онкогематологических заболеваний при гамма-бета-облучении связано с большим количеством пострадавших в соответствующих радиационных авариях (118 из 157 человек).

Т.к. значительное увеличение частоты смерти от онкогематологических заболеваний является отражением характерного стохастического эффекта облучения, была предпринята попытка выявить дозовый диапазон радиационного воздействия, в котором частота смертей от лейкозов и миелодиспластических синдромов (МДС) была максимальной. Для этого была изучена частота смерти от онкогематологических заболеваний у больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести (рис. 5).

Хотя максимальная частота смертей от лейкозов и МДС — 10,3 % — наблюдалась в группе больных, перенесших ОЛБ III степени, полученные результаты между собой не имели статистически достоверных различий.

Ярким примером развития лейкоза через 18 лет после облучения в молодом возрасте (25 лет) является следующее клиническое наблюдение.

Клиническое наблюдение 1

Больной Ю., 1961 г. р., инженер ЧАЭС, 26.04.1986 подвергся острому внешнему относительно равномерному гамма-бета-облучению. Перенес острую сочетанную травму крайне тяжелой степени: ОЛБ III степени, множественные МЛП I–II степени — 25 % поверхности тела, III–IV степени — 10 % поверхности тела. Доза облучения, по данным цитогенетического исследования, составила 4,3 Гр. Агранулоцитоз наблюдался с 17-х по 28-е сутки болезни. После выхода из агранулоцитоза в периферической крови сохранялся лейкоцитоз в связи с наличием первично незаживающих язв в области левого локтевого сустава, правого плеча и правой лопатки.

Через 6 месяцев картина крови полностью нормализовалась, отмечались лишь колебания уровня лейкоцитов $(3,7 - 6,1) \times 10^9/\text{л}$. Через 1 год эти колебания

происходили в диапазоне $(3,5 - 15,2) \times 10^9/\text{л}$. В формуле крови отмечался палочкоядерный сдвиг до миелоцитов. Уровень тромбоцитов также был подвержен периодическим колебаниям $(123,0 - 235,0) \times 10^9/\text{л}$. В течение первых 5 лет после перенесенной ОЛБ у больного рецидивировали лучевые язвы и проводились повторные пластические операции, что могло обуславливать подобную картину крови. С 1991 г. страдал парапсориазом. В 1998 г. диагностированы хронический гастрит, рефлюкс-эзофагит, хронический простатит. Обследован в связи с появлением микрогематурии, выявлена метаплазия эпителия мочевого пузыря. В периферической крови в это время наблюдались умеренные переходящие лейкопения, нейтропения и тромбоцитопения. В 2001 г. диагностирован хронический гепатит С. В 2002 г. отмечен лейкоцитоз — $13,8 \times 10^9/\text{л}$, тромбоцитоз — $395,0 \times 10^9/\text{л}$. В 2004 г. на фоне обострения хронического бронхита отмечено повышение уровня лейкоцитов до $16,9 \times 10^9/\text{л}$, снизившееся после проведения антибактериальной терапии до $12,4 \times 10^9/\text{л}$. В это же время при цитогенетическом исследовании, проведенном в ФМБЦ МЗ РФ, во всех исследованных колониях обнаружена транслокация $t(9;22)$. До января 2007 г. больной чувствовал себя удовлетворительно и в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна не обращался, при активных вызовах от обследования отказывался. В январе 2007 г. был госпитализирован с жалобами на общую слабость, потливость, фебрильную лихорадку. После проведенного обследования диагностирован Rh-позитивный хронический миелолейкоз, бластный криз. Заболевание оказалось резистентно к проводимой терапии иматинибом, нилатинибом. Больной умер в ноябре 2008 г. Если рассматривать как дебют заболевания 2004 г., то длительность заболевания составила 4 года. Длительность латентного периода — 18 лет.

Наиболее частой причиной смерти в отдаленные сроки после перенесенной ОЛБ, так же, как и среди необлучаемого населения России соответствующего возраста, являются заболевания сердечно-сосудистой системы. Отсутствие какой-либо связи этой причины смерти с перенесенным облучением и доминирующая роль в развитии заболеваний иных факторов, включая возрастные, подчеркивается в различных исследованиях [12–14].

При сравнительном анализе частоты смертей от заболеваний сердечно-сосудистой системы в группах больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести, статистически достоверных различий найдено не было (рис. 6).

Следующее клиническое наблюдение является примером смерти больного от последствий сочетанной формы ОЛБ с МЛП тяжелой степени. Часто рецидивизирующие инфицированные поздние лучевые язвы осложнились развитием амилоидоза почек.

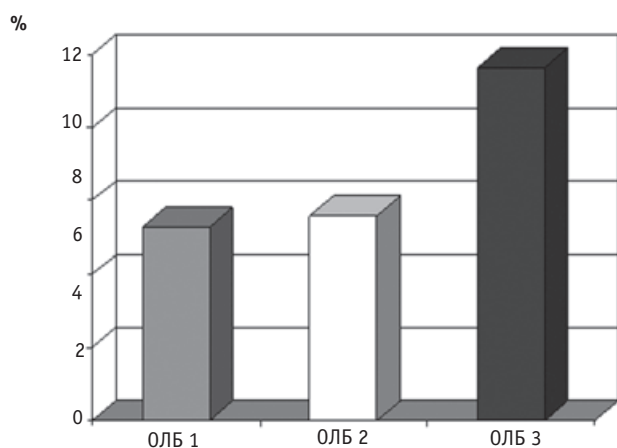


Рис. 6. Частота смерти от заболеваний сердечно-сосудистой системы в группах больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести

Клиническое наблюдение 2

Больной, 1914 г.р., в 1953 г. в результате острого гамма-нейтронного облучения в дозе 6 Гр перенес ОЛБ и МЛП тяжелой степени. В первые часы от момента воздействия у больного наблюдались явления шока. С 8-го по 23-й день болезни отмечались агранулоцитоз и глубокая тромбоцитопения с геморрагическим синдромом. В связи с развитием МЛП тяжелой степени на 245 сутки произведена ампутация правого бедра на уровне верхней трети, позднее — ампутация 3, 4, 5 пальцев левой кисти на уровне основной фаланги. В последующие годы наблюдения (1954–1956, 1962–1964, 1967, 1969, 1970, 1972, 1973–1975 гг.) у больного рецидивировали поздние лучевые язвы на пальцах рук, развился индуративный отек левой голени с выраженными трофическими изменениями и рецидивирующими поздними лучевыми язвами. В связи с этими изменениями в 1972 г. произведена ампутация левой ноги на уровне верхней трети бедра, вычленение 1 пальца левой кисти и ампутация культи 2, 3, 5 пальцев левой кисти. В это время в периферической крови отмечался нейтрофильный лейкоцитоз, развилась анемия. В течение 6 лет (1971–1975 гг.) выявлялась стойкая умеренная тромбоцитопения $(130 - 160) \times 10^9/\text{л}$. С 1967 г. наблюдалась недостаточность аортального клапана: гипертрофия левых отделов сердца, грубый диастолический шум над аортой, повышение систолического давления, высокий и скорый пульс. В качестве причины формирования аортального порока сердца рассматривалось развитие септического эндокардита вследствие хронического рецидивирования язвенно-некротических процессов на конечностях, отягощенных рецидивами мочевой инфекции. В последующие годы прогрессировала миокардиодистрофия. У больного развились коронаросклероз, общий атеросклероз, периодически

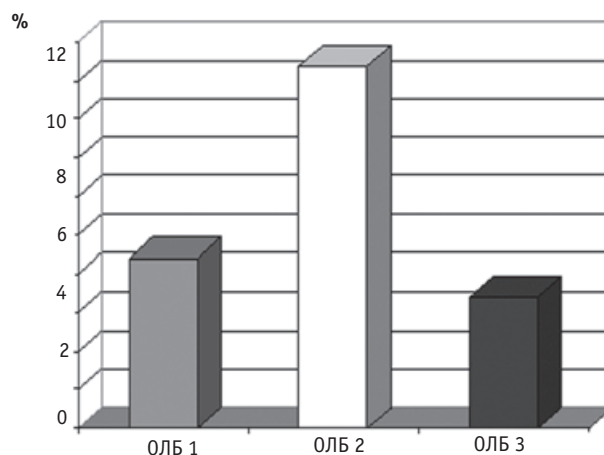


Рис. 7. Частота смерти от солидных новообразований в группах больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести

происходили нарушения коронарного кровообращения с последующим развитием рубцовых изменений миокарда в переднесепальной и верхушечной областях с нарушениями ритма и преходящей атриовентрикулярной блокадой. С 1973 г. появились и нарастали явления сердечной декомпенсации. У больного развился цирроз печени. Неоднократно наблюдались приступы сердечной астмы, явления отека легких, часто рецидивирующие пневмонии с развитием пневмосклероза. С 1955 г. отмечался изолированный мочевой синдром: протеинурия до 0,06 %, умеренные эритроцитурия, гипоальбуминемия, а также гипербеталипопротеинемия, гиперхолестеринемия. В осадке мочи — лейкоцитурия, цилиндрурия. У больного диагностирован амилоидоз почек. В качестве факторов, способствующих формированию нефротического синдрома, у данного больного рассматривалось многолетнее рецидивирование гнойно-некротических язв на конечностях и наличие сахарного диабета. При нарастании явлений сердечно-легочной недостаточности больной скончался 14.07.1975.

Онкологические заболевания являются общепризнанным стохастическим эффектом радиации. За период наблюдения с 1952 по 2006 гг. среди 157 больных, выживших после ОЛБ различной степени тяжести и наблюдаемых в клиническом отделе ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, выявлена 41 солидная опухоль. При этом только у 10 больных эти заболевания явились причиной смерти. У остальных больных ранняя диагностика и адекватное лечение онкологического заболевания предотвратили печальный исход. Частота смерти от солидных новообразований в трех группах больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести, не имела статистически достоверных различий (рис. 7).

Перечень онкологических заболеваний, послуживших причиной смерти больных, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Онкологические причины смерти больных, перенесших ОЛБ

№ пп	Доза по данным цитогенетического исследования, Гр	Возраст облучения, лет	Степень ОЛБ	Возраст умершего, лет	Диагноз
1	0,9	33	1	61	Рак предстательной железы
2	0,95 (расчет*)	22	1	61	Рак дна полости рта
3	0,7	44	1	76	Рак языка
4	3,5	35	2	53	Злокачественная невринома нижней челюсти
5	5,8	44	2	65	Рак мочевого пузыря
6	3,1	24	2	57	Рак нижнедолевого бронха
7	3	22	2	57	Рак правого легкого
8	3,4	24	2	75	Рак мочевого пузыря
9	4	31	2	70	Рак предстательной железы
10	3,7 7,7 (ЭПР эмали зуба**)	49	3	66	Эпендимомы лобной доли правого полушария головного мозга

Примечание:

* — доза определена расчетным методом

** — доза определена методом исследования электронного парамагнитного резонанса эмали зуба

Необходимо отметить, что у двух больных развился рак предстательной железы — гормонозависимая опухоль, развитие которой, по данным литературы [15], с перенесенным радиационным воздействием не связано. У остальных 8 больных облучение, несомненно, внесло свой вклад в развитие опухолей. Интересным является тот факт, что у 6 больных раковые опухоли локализовались в бронхолегочной и мочевыделительной системах, а также верхних отделах желудочно-кишечного тракта, т.е. на возможных путях поступления и выведения радионуклидов.

Канцерогенез — процесс многоступенчатый и полифакторный. Подробное изучение историй болезни пациентов, перенесших ОЛБ, позволяет отметить, что во многих случаях облучение являлось только одним из нескольких канцерогенных факторов, которые могли внести свой вклад в развитие опухолей. Примером полифакторности развития онкологического заболевания у больного, перенесшего ОЛБ II в молодом возрасте (24 года), является следующее клиническое наблюдение.

Клиническое наблюдение 3

Больной Н., 24 лет, с детства страдал заиканием, сосудистой неустойчивостью, многократно обследовался и лечился у невропатолога. Постоянно курил. Подвергся радиационному воздействию в течение 20 минут. По неполным дозиметрическим данным, получил дозу внешнего облучения свыше 2,3 Гр, по гематологическим кривым — 2,6 Гр. Перенес ОЛБ II степени. В периоде формирования основных проявлений заболевания на фоне агранулоцитоза отмечались признаки миокардита. Восстановление кроветворения — с 34-х суток.

В 1963 г. в возрасте 31 года было выявлено помутнение хрусталика, которые были расценены как возрастное. С 1970 г. — язвенная болезнь двенадцати-

перстной кишки. С 1978 г. (46 лет) — кардиосклероз с мерцанием-трепетанием предсердий. С 1979 г. отмечались признаки хронической церебральной недостаточности. С 1984 г. у больного диагностировалась гепатопатия. В 2007 г. (75 лет) больной умер от рака мочевого пузыря. Необходимо отметить, что во время радиационного воздействия пациент являлся солдатом срочной службы, а в дальнейшем на протяжении многих десятилетий работал автослесарем. Он контактировал с ароматическими аминами, которые используются для повышения октанового числа бензина. В развитие онкологического заболевания у этого пациента могли внести свой вклад как радиационное воздействие, так и действие химического фактора.

Среди причин смерти больных, перенесших ОЛБ, обращают на себя внимание почти 9 % смертей от заболеваний печени. Поражение печени занимает особое место в структуре отдаленных последствий острого лучевого воздействия. Развитие хронического гепатита в отдаленном периоде может быть патогенетически связано с проводившейся терапией ОЛБ. Массивные трансфузии компонентов крови и повторные пластические операции при МЛП и их последствиях в ряде случаев служили причиной инфицирования вирусами гепатита В, С и развития хронического вирусного гепатита. Согласно оценкам ВОЗ [16], 3 % населения земного шара может быть инфицировано вирусом гепатита С. Внутрибольничный путь заражения является одним из основных. По данным ряда исследователей [17–20], у 18 % больных хроническим гепатитом заражение происходит в лечебном учреждении. Однако кроме вирусного фактора в генезе хронического гепатита у больных, перенесших ОЛБ, существенное значение имеет и частое употребление алкоголя. Злоупотребление алкоголем связано как с недостаточной социальной адаптацией

больного, перенесшего ОЛБ, так и с рядом травмирующих психологических факторов (смерть товарищей, более тяжело пострадавших во время аварии, тревога за собственное здоровье и судьбу близких и др.). По данным О.В. Чинкиной и соавт. [21], ближайший послеаварийный период характеризуется социальной и трудовой дезадаптацией, формированием неблагоприятных психических состояний у больных, перенесших ОЛБ.

При изучении частоты смерти от цирроза печени у больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести (рис. 8), статистически значимых различий между группами найдено не было.

В качестве иллюстрации приводим описание истории болезни больного Т., в возрасте 25 лет перенесшего ОЛБ крайне тяжелой степени, подвергшегося в отдаленные сроки повторным пластическим операциям по поводу МЛП с целью восстановления трудоспособности и лучшей социальной адаптации. Последняя цель не была достигнута. В связи с ощущением собственной невостребованности больной начал злоупотреблять алкоголем, что при достаточной компенсации последствий острых лучевых поражений в отдаленном периоде наряду с персистенцией вирусов гепатита В и С привело к цирротическому поражению печени и его смерти в относительно молодом возрасте.

Клиническое наблюдение 4

Больной Т., 1961 г. рождения, оператор аварийной смены ЧАЭС, в 1986 г. перенес ОЛБ IV ст. тяжести от внешнего гамма-бета-облучения, костномозговой синдром 4 степени, орофарингеальный синдром 3 степени, МЛП 1–2 степени – 80 % поверхности тела, 3–4 степени – 16 % поверхности тела. В периоде формирования ОЛБ в связи с быстрым снижением показателей периферической крови и с подозрением на необратимость поражения костного мозга, основанном на представлении о величине дозы лучевого

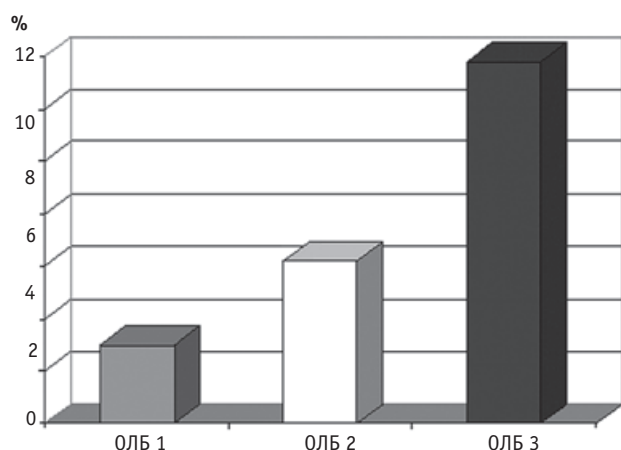


Рис. 8. Частота смерти от цирроза печени в группах больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести

воздействия (доза, по данным цитогенетического исследования, составила 9 Гр), больному была проведена трансплантация костного мозга родной сестры. Однако приживления трансплантата получено не было, через 30 дней после облучения появились признаки восстановления собственного кроветворения. Спустя 120 дней после облучения у больного отмечено полное восстановление костномозгового кроветворения с нормализацией показателей периферической крови. В дальнейшем периодически наблюдались эпизоды умеренных преходящих тромбоцитопении и лейкопении. Через 17 месяцев после облучения выявлена лучевая катаракта обоих глаз, в 1990 г. в связи с быстрым и значительным снижением остроты зрения проведены операции по поводу удаления катаракты и вживления искусственных оптических линз. Повторно проводились пластические операции по поводу поздних лучевых язв левой ягодицы, левого бедра. Больной не работал, являлся инвалидом II группы. С 1987 г. начал злоупотреблять алкоголем. В 1989 и 2004 гг. лечился по поводу травм мягких тканей головы, нижних конечностей, полученных в результате автомобильной аварии. После проведенного лечения выявлялась посттравматическая люмбаго-ишиалгия. С 1988 г. неоднократно находился в стационаре по поводу обострений правостороннего хронического гнойного гемисинуита. В 1998 г. была проведена операция на правой лобной и верхнечелюстной пазухах. Периодически проводилось лечение по поводу вторичного иммунодефицитного состояния на фоне рецидивирующих частых хронических заболеваний ЛОР-органов. В 1990 г. впервые установлен диагноз хронического персистирующего гепатита, выявлены антитела к вирусу гепатита С. До 2001 г. активность хронического гепатита оценивалась как минимальная, с 2001 г. – как умеренная. С 2006 г. на фоне постоянного злоупотребления алкоголем, по данным клинико-инструментальных исследований, отмечено значительное увеличение активности хронического гепатита, формирование цирроза печени (гепато- и спленомегалия, варикозно расширенные вены пищевода). 18.10.2010 больной после употребления в течение двух недель по 1,5 л алкоголя в сутки поступил в больницу в крайне тяжелом состоянии. Несмотря на проводимое лечение при явлениях печеночной недостаточности, и кровотечения из варикозно расширенных вен пищевода 19.10.2010 больной умер. В соответствии с патологоанатомическим исследованием смерть наступила вследствие алкогольного цирроза печени высокой степени активности на фоне хронической алкогольной интоксикации с поражением головного мозга, поджелудочной железы, желудка, осложненного желудочно-кишечным кровотечением из расширенных вен пищевода.

Выводы

1. Продолжительность жизни в отдаленные сроки у больных, перенесших ОЛБ различной степени тяжести, достоверно не отличается от продолжительности жизни необлученного мужского населения России.
2. Медиана выживаемости независимо от степени тяжести перенесенной ОЛБ составляет 26 лет.
3. Наиболее частыми причинами смерти в отдаленные сроки после перенесенной ОЛБ также как и среди населения России являются болезни сердечно-сосудистой системы и онкологические заболевания.
4. При сочетании ОЛБ с МЛП тяжелой степени причиной смерти в отдаленные сроки могут быть последствия МЛП и их осложнения. Незаживающие и рецидивирующие поздние лучевые язвы являются «воротами» для инфекции, которая при ее генерализации (сепсис, септический эндокардит, остеомиелит, нередко осложняющиеся амилоидозом) может привести к смертельному исходу.
5. Следствием характерного стохастического эффекта облучения является значительное по сравнению с необлучаемым населением России увеличение до 12 % доли смертей от онкогематологических заболеваний.
6. Отмечается увеличение до 8 % доли смертей от хронических заболеваний печени, связанных как с внутрибольничным инфицированием вирусами гепатита В и С, так и с злоупотреблением алкоголем вследствие социальной и психологической дезадаптации больных в отдаленные сроки после перенесенной ОЛБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Улумбекова Г.Э. Здравоохранение России. Что надо делать: научное обоснование «Стратегии развития здравоохранения РФ до 2020 г.». — М.: Гэотар-Медиа, 2010, 589 с.
2. Отдаленные последствия лучевых поражений. Под ред. Ю.И. Москалева. — М.: Атомиздат, 1971, 524 с.
3. Гогин Е.Е., Емельяненко В.М., Бенецкий Б.А. и соавт. Сочетанные радиационные поражения. — М.: ППО Известия, 2000, 240 с.
4. Окладникова Н.Д., Сумина М.В., Пестерникова В.С. и соавт. Отдаленные последствия внешнего гамма-облучения по результатам наблюдения за персоналом первого в стране предприятия атомной промышленности. // Клиническая медицина, 2007, № 10, С. 21–26.
5. Howe G.H., Zablotzka L.B., Fix J.F. et al. Analysis of the mortality experience among US nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing radiation. // Radiat. Res., 2004, 162, P. 517–526.
6. Zielinski J.M., Shilnikova N.S., Krewski D. Canadian National Dose Registry of radiation workers: overview of research from 1951 through 2007. // Int. J. Occup. Med. Environ. Health, 2008; 21, No. 4, P. 269–75.
7. Zielinski J.M., Garner M.J., Band P.R. et al. Health outcomes of low-dose ionizing exposure among medical workers: a cohort study of the Canadian national dose registry of radiation workers. // Int. J. Occup. Med. Environ. Health, 2009, 22, No. 2, P. 149–56.
8. McGeoghegan D., Binks K., Gillies M. et al. The non-cancer mortality experience of maleworkers at British Nuclear Fuels plc, 1946–2005. // Internat. J. Epidemiol., 2008, 37, P. 506–518.
9. Величковский Б.Т. Жизнеспособность нации. Роль социального стресса и генетических процессов в популяции в развитии демографического кризиса и изменении состояния здоровья населения России. — М., 2009, 175 с.
10. Конопляников А.Г. Радиобиология стволовых клеток. — М.: Биоинформсервис, 2009, 172 с.
11. Шаляпина А.В. Структура и динамика развития сердечно-сосудистых заболеваний у лиц, перенесших ОЛБ, и у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2007, 52, № 6, С. 21–28.
12. Белый Д.А., Коваленко А.Н., Бебешко В.Г. Патологические состояния некоторых органов и систем у лиц, перенесших острую лучевую болезнь в динамике: 15 лет после Чернобыльской аварии. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2004, 49, № 2, С. 24–36.
13. Метляева Н.А. Диагностика ранних клинико-электрокардиографических изменений сердечно-сосудистой системы у лиц, перенесших ОЛБ и у работников атомной промышленности, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2004, 49, № 2, С. 31–39.
14. Публикация № 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 г. Международной комиссии по радиационной защите. — М., 2009, 311 с.
15. Ebeling F. Epidemiology of the hepatitis C virus. // Vox Sang., 1998, 74, Suppl. 2, P. 143–146.
16. Muhlberger N., Schwarzer R., Lettmeier B. et al. HCV-related burden of disease in Europe: a systematic assessment of incidence, prevalence, morbidity, and mortality. // BMC Public Health, 2009, 22; No. 9, P. 34–42.
17. Cozzolongo R., Osella A.R., Elba S. et al. Epidemiology of HCV infection in the general population: a survey in a southern Italian town // Amer. J. Gastroenterol, 2009, 104, 11, No. 2, P. 740–744.
18. Maio G., d'Argenio P., Stroffolini T. et al. Hepatitis C virus infection and alanine transaminase levels in the general population: a survey in a southern Italian town. // J. Hepatol, 2000, 33, No. 1, P. 116–120.
19. Brant L.J., Davison K.L. Infections detected in English surgical bone and deceased donors (2001–2006) and estimated risk of undetected hepatitis B and hepatitis C virus. // Vox Sang, 2008, 95, No. 4, P. 272–279.
20. Чинкина О.В., Торубаров Ф.С. Психологические особенности больных, перенесших острую лучевую болезнь в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. // Физиология человека, 1991, 17, № 4, С. 159–166.

Поступила: 08.04.2013

Принята к публикации: 23.05.2013

**А.П. Дунаев¹, Ж.В. Шейх², В.Н. Яковлев², В.Г. Алексеев², Е.В. Есин¹,
Н.С. Дребушевский¹, В.И. Дога¹, Г.Г. Федченко³, А.Н. Башков¹,
О.О. Григорьева¹, В.Г. Жуховицкий², С.А. Ульянов¹**

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ АБСЦЕССОВ ЛЕГКИХ

**A.P. Dunaev¹, Zh.V. Sheikh², V.N. Yakovlev², V.G. Alekseev², E.V. Esin¹,
N.S. Drebushvskiy¹, V.I. Doga¹, G.G. Fedchenko³, A.N. Bashkov¹,
O.O. Grigor'eva¹, V.G. Zhukhovitskiy², S.A. Ul'aynov¹**

Computed Tomography in the Diagnostics of Lungs Abscess

РЕФЕРАТ

Цель: Повышение эффективности лучевой диагностики у больных абсцессом легкого.

Материал и методы: Рентгенография и КТ выполнена 95 пациентам с абсцессом легкого. Массивное уплотнение легочной ткани визуализировалось у 56 (58,8 %) больных при рентгенографии и у 77 (81 %) при КТ. Округлая форма инфильтрата с наличием повышения плотности в его центре отмечалась у 33 (34,7 %) больных на рентгенограммах и у 45 (47,3 %) больных при КТ. Снижение плотности в центре инфильтрата наблюдалось у 4 (4,2 %) больных при рентгенографии и у 22 (22,9 %) больных при КТ. Расплавление ткани инфильтрата до жидкостной плотности, занимающее практически весь его объем, наблюдалось у 11 (11,5 %) больных, при КТ у 27 (60 %) больных. Воздушная полость с неравномерно утолщенными стенками (после опорожнения гнойника) отмечалась у 73 (76,8 %) больных при рентгенографии и у 89 (96,3 %) больных на КТ-исследовании, формирование капсулы и полости правильной округлой формы с ровными стенками определялось у 12 (12,6 %) пациентов при рентгенографии, при КТ — у 26 (27,3 %) больных. Полости, сообщающиеся между собой, при рентгенографии визуализировались у 2 (2,1 %) больных, при КТ-исследовании — у 5 (5,2 %) больных. Поражение обоих легких зарегистрировано при рентгенографии у 3 больных (3,1 %), при КТ — у 6 больных (6,3 %). У 3 (3,1 %) больных при рентгенографии и у 7 (7,3 %) больных был зафиксирован гангренозный абсцесс. Исходом абсцесса легкого у 15 (15,7 %) пациентов являлось формирование рубца звездчатой формы, у 58 (61 %) пациентов — рубцовые изменения легочной ткани с формированием небольшой остаточной воздушной полости.

Вывод: КТ является высокоинформативным методом диагностики абсцесса легкого. По сравнению с традиционной рентгенографией КТ позволяет наиболее точно определять локализацию и распространенность патологического процесса и выявлять наличие полостей деструкции легочной ткани, что, в свою очередь, требует коррекции проводимого лечения.

Ключевые слова: абсцесс легкого, компьютерная томография

АБСТРАКТ

Purpose: To increase the effectiveness of radiation diagnosis in patients with lung abscess.

Results: X-ray and CT scan performed for 95 lung abscess patients. Massive pulmonary tissue seal was visualized in 56 (58.8 %) patients by X-ray imaging and in 77 (81 %) at CT. The rounded shape of infiltration, with the presence of increased density in the center was observed in 33 (34.7 %) patients on radiographs and CT in 45 (47.3 %) patients. Reduced density at the center of infiltration were observed in 4 patients (4.2 %) patients by X-ray imaging and in 22 (22.9 %) patients at CT. Melting of the infiltrate's tissue to the liquid density, occupying almost the entire volume was observed on radiographic in 11 (11.5 %) patients with CT in 27 (60 %) patients. The air cavity with irregularly thickened walls (after draining the abscess) was observed in 73 (76.8 %) patients on radiographs and in 89 (96.3 %) patients in the CT study, the formation of capsules and oral correctly rounded with smooth walls was determined in 12 (12.6 %) patients during radiography at CT in 26 (27.3 %) patients. The cavities are interconnected at film visualized in 2 (2.1 %) patients in the study, CT — 5 (5.2 %) patients. The defeat of both lungs was registered in radiography in 3 patients (3.1 %), and CT in 6 patients (6.3 %). In 3 (3.1 %) patients in medical imaging and in 7 (7.3 %) patients a gangrenous abscess was recorded. Outcome of lung abscess in 15 patients (15.7 %) was the formation of star-shaped scar; in 58 (61 %) patients the scarring of lung tissue with the formation of a small residual air space had been found.

Conclusion: CT is a highly informative method for diagnosis of lung abscess. Compared with the conventional radiography CT can determine the location and extent of the pathological process more accurately and to detect the presence of the cavities and destruction of lung tissue, which in turn requires adjustment of the treatment.

Key words: computed tomography, lung abscess

Введение

Абсцесс легкого (АЛ) — это патологический процесс, который характеризуется некрозом паренхимы легкого с последующим образованием полостей распада в легочной ткани, содержащих жидкость и

некротические элементы разрушенной ткани. Отмечается высокая частота возникновения АЛ при пневмониях (от 2 до 5 %), закрытых травмах груди (1,5–2 %), огнестрельных ранениях (1,5 %). Несмотря на значительные успехи в диагностике и лечении этой

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: dunaev_alexei@mail.ru

² ГБУЗ Городская клиническая больница им. С.П. Боткина,

³ Российская медицинская академия последипломного образования, Москва

¹ Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia, E-mail: dunaev_alexei@mail.ru

² City Clinical Hospital S.P. Botkin, Moscow,

³ Russian Medical Academy of Postdiploma Education, Moscow, Russia

патологии, летальность при абсцессах легких достигает 10 %.

АЛ может являться осложнением различных патологических процессов, как грибковых и бактериальных инфекций, так и онкологических заболеваний. АЛ является следствием снижения вентиляции легочной ткани (вследствие ателектаза или воспаления), расстройства кровообращения в участке поражения или вследствие прямого влияния токсинов на безвоздушную легочную ткань с нарушенным кровообращением. АЛ часто возникает у пациентов преклонного возраста в связи со снижением активности иммунной системы, а также с подавлением деятельности кашлевого центра. Исчезновение кашлевых рефлексов приводит к застою мокроты в бронхах, что в свою очередь создает благоприятную среду для размножения микроорганизмов [3,9]. Перечисленные факторы приводят к возникновению АЛ в 75 % случаев [10].

Возможны следующие пути проникновения повреждающего агента в легкое [13]:

- эндобронхиальный (ингаляционный, аспирационный, обтурационный);
- гематогенный: тромбоэмболический (постинфарктный), септический;
- травматический; из пограничных тканей и органов (контактный, лимфогенный).

Возбудители абсцесса легкого [11]:

Анаэробы

Peptostreptococcus spp.

Bacteroides spp.

Fusobacterium spp.

Microaerophilic streptococci

Аэробы

Staphylococcus aureus

Streptococcus pyogenes

Haemophilus influenzae

Pseudomonas aeruginosa

Klebsiella pneumoniae

Burkholderia cepacia

Streptococcus pneumoniae

Actinomyces spp.

Nocardia spp.

Proteus mirabilis

Pasteurella multocida

Burkholderia pseudomallei

Другие микроорганизмы

Микобактериальных инфекций — преимущественно туберкулез

Грибы (видов *Aspergillus*, *Cryptococcus*, *Histoplasma*, *Blastomyces*, *Coccidioides*)

Паразиты (*Entamoeba histolytica*, *Paragonimus spp.*)

Pasteurella multocida — зоонозная инфекция от кошек, собак, крупного рогатого скота [12].

Burkholderia pseudomallei являлась причиной случаев АЛ, произошедших после цунами в 2004 г. [6].

В исследовании Bartlett и др. в 1974 г. у 46 % пациентов АЛ из мокроты выделяли только анаэробы, а у 43 % пациентов анаэробы и аэробы. Больше всего анаэробов *Peptostreptococcus species*, *Bacteroides species*, *Fusobacterium species*, *microaerophilic streptococci*. Общая смертность пациентов с заболеванием АЛ, вызванного совместно грам-положительными и грам-отрицательными организмами составляет до 20 % [8].

АЛ разделяют в зависимости от давности заболевания на острые — не более 3 месяцев — и хронические, у которых давность заболевания превышает 3 месяца. При этом может наблюдаться воспалительный процесс внутри или вокруг полости [7]. Чаще поражается правое легкое. Абсцессы легкого могут локализоваться в различных отделах легкого, но чаще поражаются I, II и IV сегменты правого легкого [2].

Острые абсцессы являются самым частым гнойным осложнением острых пневмоний. Их развитие отмечается в среднем у 3,8 % больных острой пневмонией [4, 5].

При гангренозных абсцессах в полости деструкции, как правило, выявляются секвестры легочной ткани. Закрывание полостей распада среди больных с острыми нагноениями наблюдается в 95 % на сроках от 1 месяца до 1 года, среди больных с нагноением хронических полостей — в 60 % случаев [1].

В диагностике абсцессов легких применяют как традиционное рентгенологическое исследование, которое позволяет выявлять изменения легочной ткани, так и более современный высокотехнологический и более информативный метод исследования, такой как рентгеновская КТ, который позволяет наиболее полно и точно оценить распространенность патологического процесса и своевременно и правильно поставить диагноз.

Целью настоящего исследования является повышение эффективности лучевой диагностики у больных абсцессом легкого.

Материал и методы

Проанализированы данные обследования 95 пациентов в возрасте от 18 до 89 лет. Среди них 65 лиц мужского пола, 30 лиц женского пола. Распределение больных по возрасту представлено на рис. 1.

Средний возраст больных составил 56 ± 10 лет.

Всем больным выполнена КТ органов грудной клетки после рентгенографии. КТ выполнялась на аппарате Hi Speed DX/I фирмы General Electric. 22 больным выполнена КТ с алгоритмом высокого разрешения. У 23 больных диагноз верифицирован интраоперационно, у 70 больных — при динамической КТ, у 2 больных — при аутопсии.

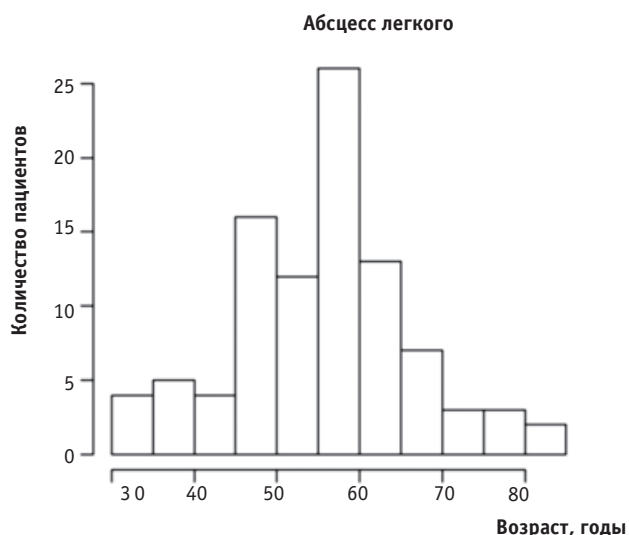


Рис. 1. Распределение больных абсцессом легкого по возрасту

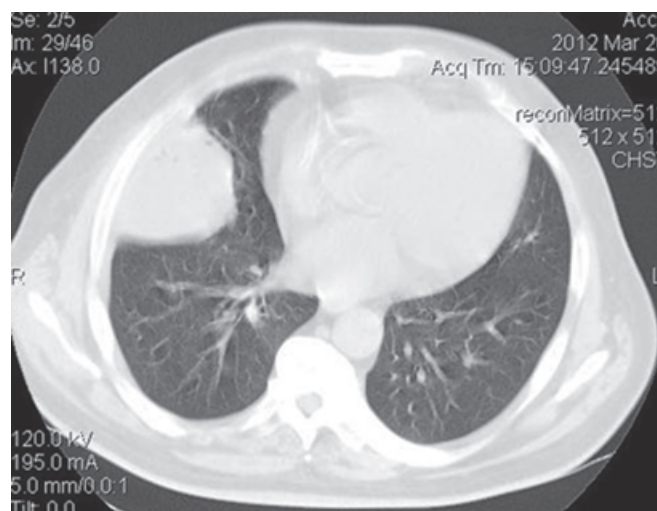


Рис. 2. В периферическом отделе нижней доли правого легкого отмечается округлая зона уплотнения легочной ткани, широким основанием прилежащая к костальной плевре

Результаты и обсуждение

Основными формами поражения легочной ткани, выявленными у больных абсцессом легкого, были уплотнение легочной ткани, округлая форма инфильтрата, единичные полостные образования, содержащие горизонтальный уровень жидкости, дальнейшее формирование воздушной полости в паренхиме легкого, наличие свободной жидкости в плевральных

полостях. Выявленные КТ-признаки представлены в табл. 1.

В начальной фазе процесса массивное уплотнение легочной ткани отмечалось у 56 (58,8 %) больных при рентгенографии и у 77 (81 %) при КТ ($p < 0,002$). Инфильтрат в большинстве случаев находился в периферических отделах легочной ткани и прилежал к костальной плевре. У 24 больных процесс носил

Таблица 1

Характеристика поражений легочной ткани у больных абсцессом легкого

Характер поражения		Рентгенография		КТ		p
		n	%	n	%	
I. Инфильтрат в легочной ткани						
Массивное уплотнение легочной ткани		56	58,9	77	81	0,002*
Округлая форма инфильтрата, с наличием повышения плотности в его центре		33	34,7	45	47,3	0,105
II. Формирование полости деструкции в легочной ткани с прорывом в дренирующий бронх						
Снижение плотности в центре инфильтрата		4	4,2	22	22,9	< 0,001*
Расплавление ткани инфильтрата до жидкостной плотности, занимающее практически весь его объем		11	11,5	27	60	0,007*
III. Абсцесс с капсулой						
Воздушная полость с неравномерно утолщенными стенками		73	76,8	89	96,3	0,002*
Перикавитарная инфильтрация		64	67,3	87	91,5	< 0,001*
Единичная полость размерами от 8 до 40 мм		12	12,6	26	27,3	0,0184
Полости,	сообщающиеся между собой не сообщающиеся между собой	2	2,1	5	5,2	0,441
		1	1	3	3,1	0,613
Поражение	одного легкого обоих легких	78	82,1	90	94,7	0,012
		3	3,1	5	5,2	0,718
Поражение	одного сегмента легкого нескольких сегментов легкого	68	71,5	75	79,9	0,313
		13	13,6	20	21,5	0,251
Наличие в полости секвестров		3	3,1	7	7,3	0,33
IV. Исход абсцесса легкого						
Формирование рубца звездчатой формы		7	7,3	15	15,7	0,112
Формирование небольшой остаточной воздушной полости		24	24,2	58	61	< 0,001*
Хронический абсцесс		4	4,2	5	5,2	1

Примечание:

* – имеется статистически достоверное различие

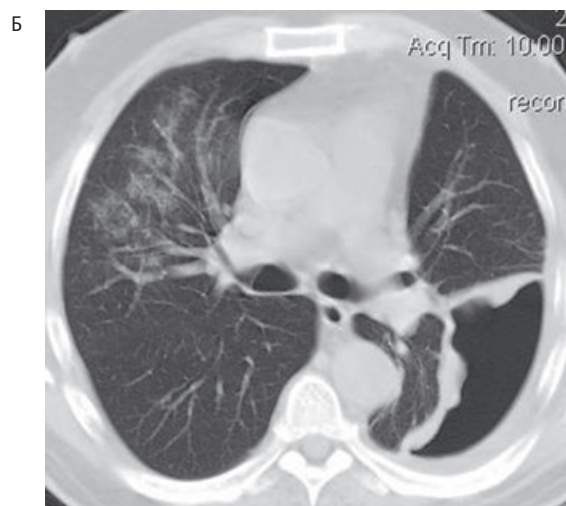
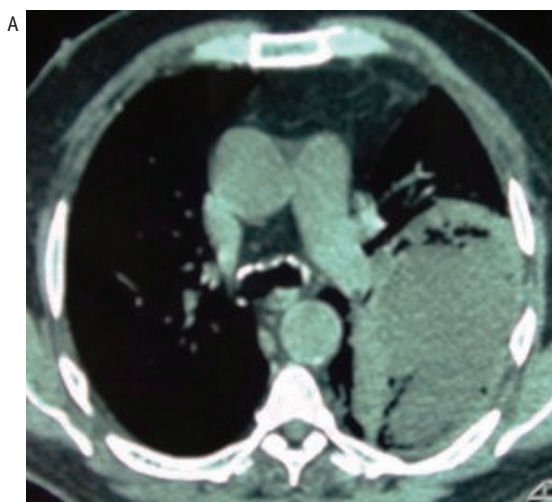


Рис. 3. А, Б. Динамика абсцесса верхней доли левого легкого на фоне проведенного лечения.

А. Недренируемый абсцесс S1+2 левого легкого проявляется как расплавление инфильтрата легочной ткани округлой формы с толстыми стенками до жидкостной плотности. Б. Крупная воздушная полость с неравномерно утолщенными стенками после опорожнения абсцесса легкого через дренируемый бронх. КТ-грамма демонстрирует воздушную полость распада паренхимы легкого с неравномерно утолщенными стенками в нижней доле левого легкого. В средней доле правого легкого определяется зона инфильтрации легочной ткани

полисегментарный характер при рентгенографии определялось у 13 больных (13,6 %), при КТ — у 20 больных (21,5 %) ($p < 0,251$). При рентгенографии округлая форма инфильтрата с наличием повышения плотности в его центре отмечалась у 33 (34,7 %) больных на рентгенограммах и при КТ у 45 (47,3 %) больных (рис. 2) ($p < 0,105$).

В последующей фазе развития абсцесса легкого снижение плотности в центре инфильтрата наблюдалось у 4 (4,2 %) больных при рентгенографии и у 22 (22,9 %) больных при КТ ($p < 0,001$). Далее, вследствие расплавления ткани инфильтрата, определялось снижение плотности в его центре до жидкостной (1–23 НУ). Жидкость занимала практически весь

объем абсцесса, что визуализировалось при рентгенологическом исследовании у 11 (11,5 %) больных, при КТ — у 27 (60 %) больных ($p < 0,007$) (рис. 3а).

После прорыва абсцесса в бронх отмечалась визуализация воздушной полости, как правило, с неравномерно утолщенными стенками, неправильной формы, с нечеткими контурами за счет перифокальной воспалительной инфильтрации легочной ткани у 73 (76,8 %) больных при рентгенографии и у 89 (96,3 %) больных на КТ-исследовании ($p < 0,002$). Стенки полости были неровные по толщине, с «бухтообразным» внутренним очертанием (рис. 3б). Визуализировался дренирующий бронх.

После отторжения некротических масс и формирования капсулы абсцесса полость принимала более или менее правильную округлую форму, равномерную толщину стенки и ровные четкие внутренние контуры, данное явление определялось у 12 (12,6 %) пациентов при рентгенографии, при КТ у 26 (27,3 %) больных ($p < 0,0184$). Размеры полостей распада варьировались от 8 мм до 40 мм (рис. 4).

Полости, сообщающиеся между собой, при рентгенографии визуализировались у 2 (2,1 %) больных, при КТ-исследовании — у 5 (5,2 %) больных ($p < 0,441$) (рис. 5). В легочной ткани, прилежащей к капсуле абсцесса, как правило, визуализировались инфильтративные изменения. Поражение обоих легких зарегистрировано при рентгенографии у 3 больных (3,1 %), при КТ — у 6 больных (6,3 %) ($p < 0,718$) (рис. 6). У 3 (3,1 %) больных при рентгенографии и у 7 (7,3 %) больных при КТ был зафиксирован гангренозный абсцесс ($p < 0,33$). В полости абсцесса визу-

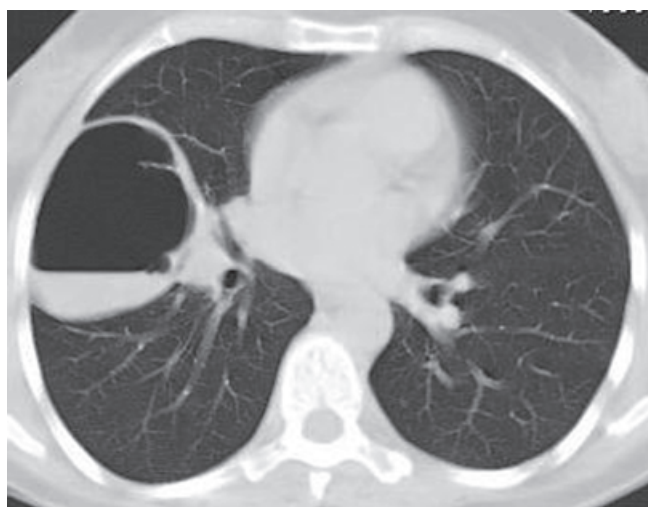


Рис. 4. КТ-грамма демонстрирует крупное полостное образование с толщиной стенки от 2 до 5 миллиметров и с горизонтальным уровнем жидкости в средней доле правого легкого. Окружающая легочная ткань интактна.

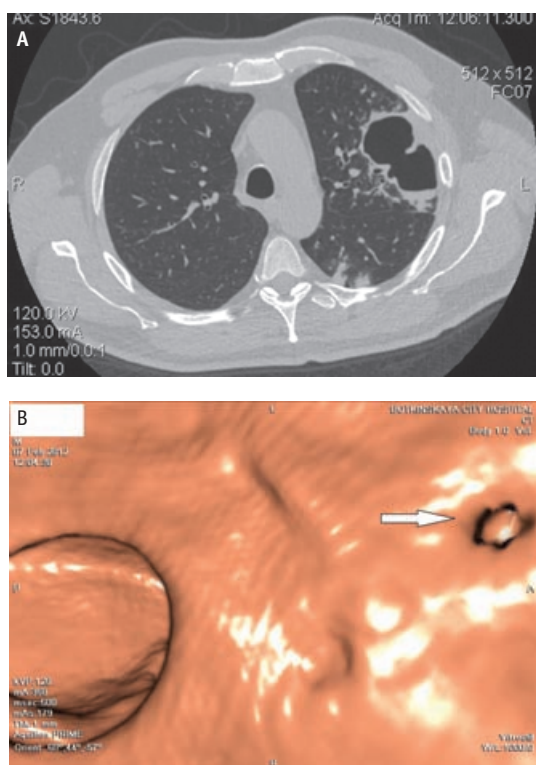


Рис. 5. А. В S1+2 левого легкого определяется неправильной формы воздушная полость с неравномерно утолщенными стенками, состоящая из двух компонентов округлой формы, имеющих неполную перегородку и небольшим количеством жидкостного содержимого с горизонтальным уровнем. Б. Виртуальная бронхоскопия. Вид полости изнутри. Определяется неровность контуров полости, округлая неполная перегородка и дренирующий бронх (стрелка). В. МПР на которых визуализируется дренирующий полость бронх

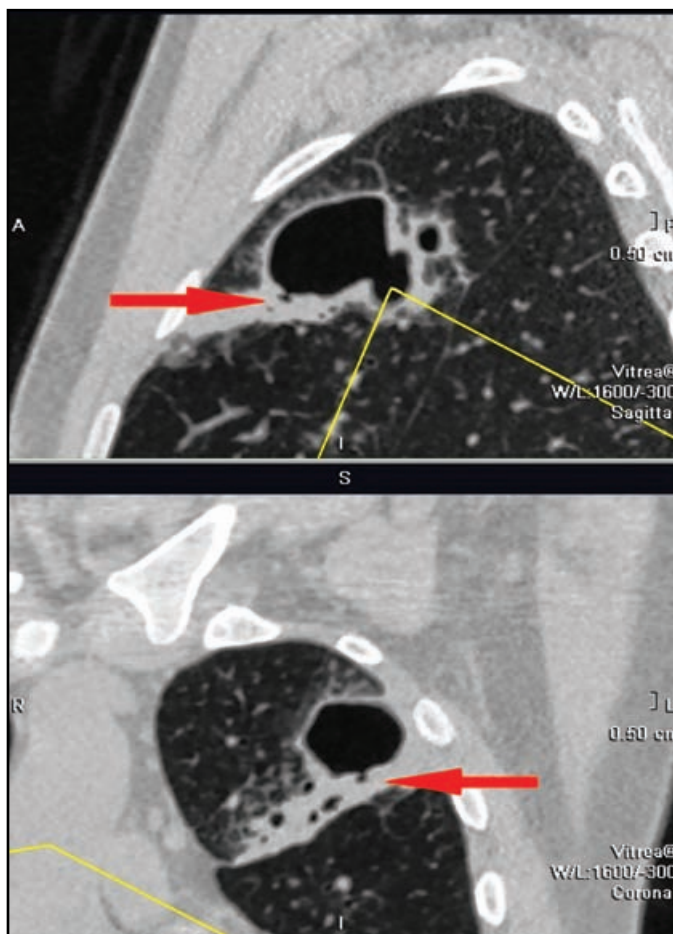


Рис. 7. Гангренозный абсцесс. В верхней доле правого легкого определяется толстостенная полость распада легочной ткани, полностью выполняющая верхнюю долю, в которой визуализируется уровень жидкости и секвестры

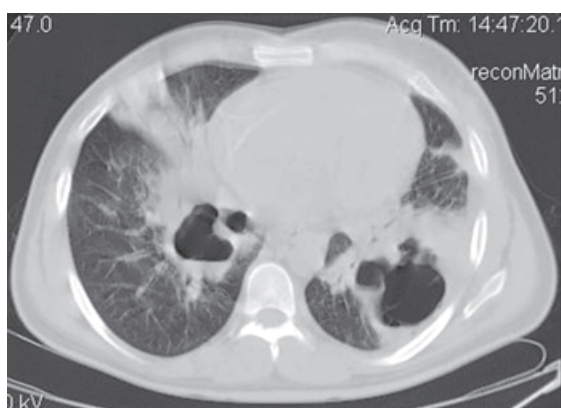


Рис. 6. В нижних долях обоих легких определяются два воздушных полостных образования неправильной формы, содержащие небольшое количество жидкостного содержимого с горизонтальным уровнем, имеющих стенки разной толщины. Имеется перикавитарная инфильтрация

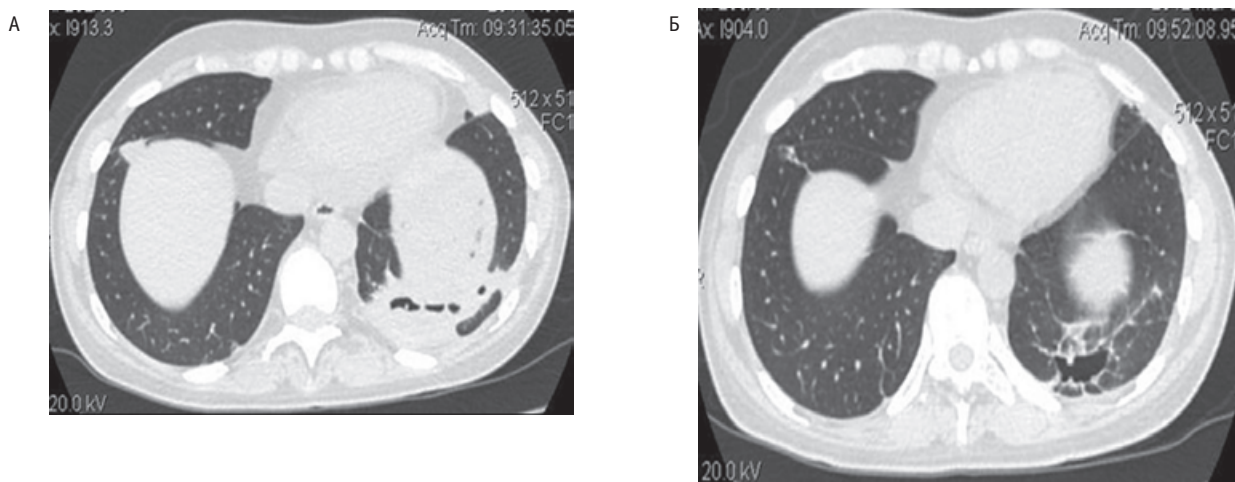


Рис. 8 А, Б. Динамика абсцесса нижней доли левого легкого с исходом в остаточную полость

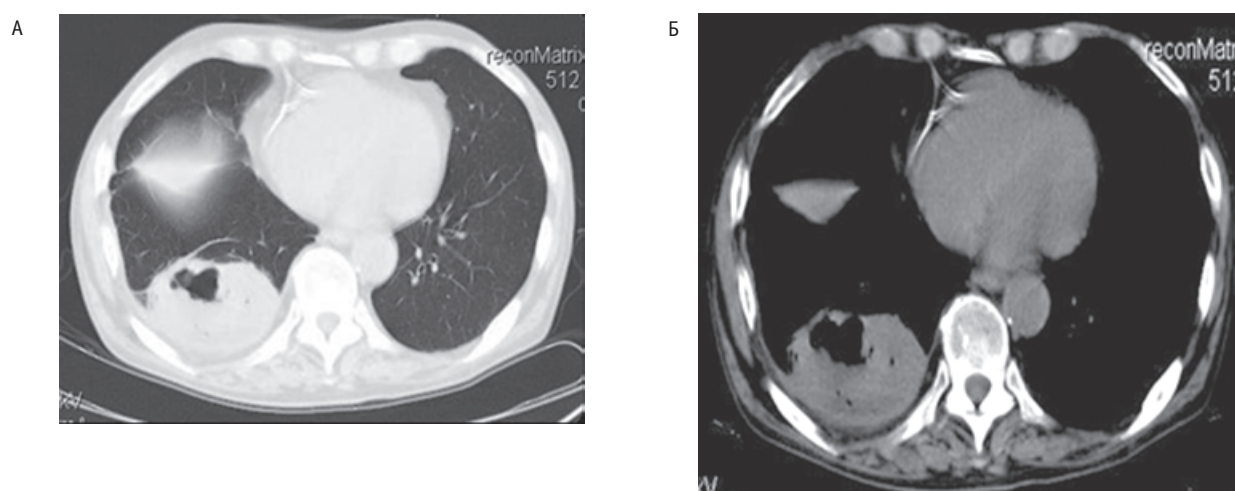


Рис. 9 А, Б. Хронический абсцесс нижней доли правого легкого с секвестрацией. В нижней доле правого легкого определяется уплотнение легочной ткани овальной формы, широким основанием прилежащее к костальной плевре, в котором визуализируется полость распада. Структура инфильтрата неоднородная визуализируются участки пониженной плотности, обусловленные гнойным расплавлением легочной ткани и пузырьки воздуха, обусловленные частичным дренированием содержимого абсцесса. Стенки полости неровные, разные по толщине, за счет неотторгшихся некротических масс. В окружающей легочной ткани визуализируется локальный участок «матового стекла»

ализировалась некротизированная ткань — секвестр (рис. 7).

Исходом острого абсцесса легкого у 15 (15,7 %) больных являлись образование рубцовых изменений и у 58 больных (61 %) остаточной воздушной полости — кисты (рис. 8), у 11 (11,5 %) больных определялось полное восстановление легочной ткани в периоде реконвалесценции.

Когда инфильтрация исчезала, показатель денситометрии и толщина стенки полости распада указывали на характер протекающих изменений легочной ткани, ведущих либо к полной регрессии и фиброфикации, либо к формированию хронического абсцесса, что важно для клинициста.

В процессе набора материала, помимо основного материала, у 4 (4,2 %) больных был зафиксирован

хронический абсцесс легкого при рентгенографии, у 5 больных (5,2 %) — при КТ. Полость деструкции, как правило, располагалась в периферическом отделе, широким основанием прилежала к костальной плевре. В прилежащей к абсцессу паренхиме легкого визуализировались линейные фиброзные тяжи, участки уплотнения различной формы (рис. 9).

В 14 % случаях при КТ были выявлены зоны инфильтрации и полости распада легочной ткани, которые не определялись при традиционном рентгенологическом исследовании, что потребовало внести соответствующую коррекцию проводимого лечения.

Результаты кластерного анализа пациентов и КТ-признаков приведены на рис. 10. В столбцах показано число пациентов, в строках — признаки. При этом для строк и столбцов приведены дендрограммы,

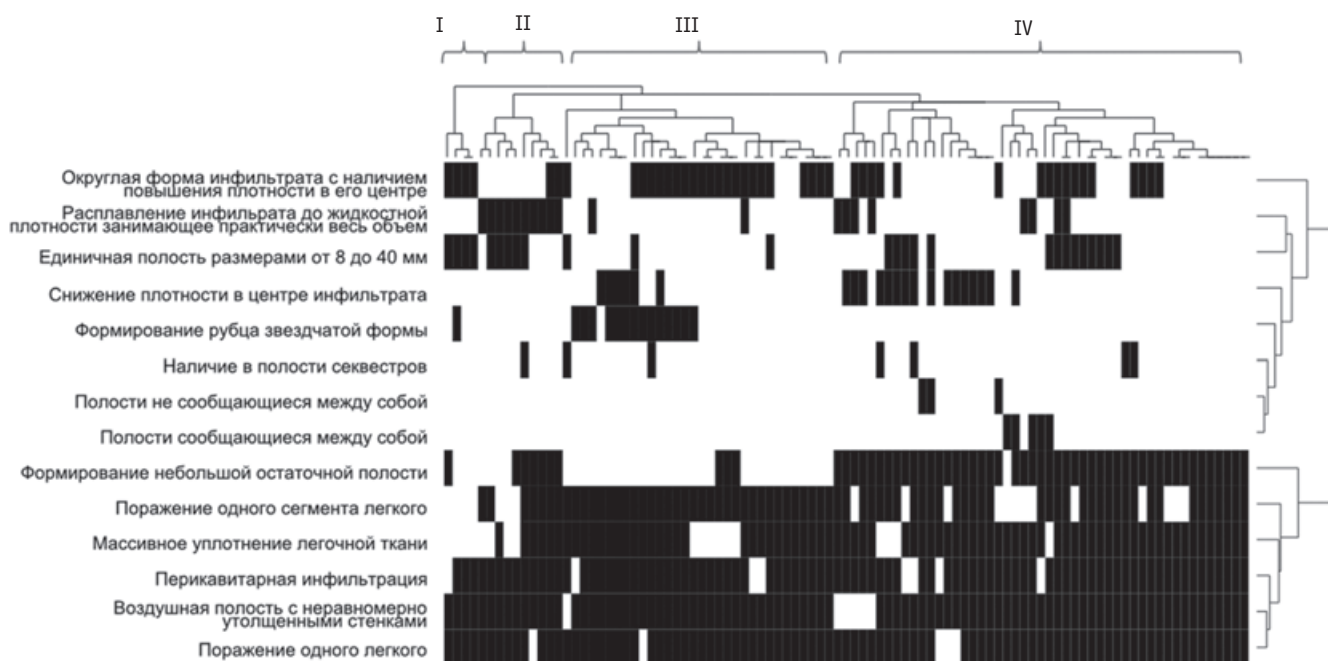


Рис. 10. Кластерная карта поражений легочной ткани при АЛ по данным КТ

полученные иерархическим кластерным анализом по методу полной связи. В качестве меры расстояния между векторами использовали расстояние Хэмминга (доля совпадающих значений). Черным отмечено наличие признака, белым — его отсутствие.

Как следует из полученных результатов, все больные были разделены на 3 основные группы. При этом группа из 4 больных была выделена в отдельный кластер (кластер I), несхожий с остальными.

Группа II была относительно небольшая (10 больных). При этом характерным признаком являлось наличие расплавления инфильтрата. Также для этой

группы было нехарактерно снижение плотности в центре инфильтрата, наличие полостей и формирование рубца звездчатой формы.

Группа III состояла из 32 больных. В этой группе не встречались полости, сообщающиеся между собой, также было нехарактерно наличие инфильтрата. Во всех случаях поражен один сегмент легкого.

Группа IV состояла из 49 больных. У этих больных не встречалось формирование рубца звездчатой формы и почти всегда формировалась небольшая остаточная полость.

Кластерный анализ КТ-признаков поражения легких у больных АЛ представлен в табл. №2.

Таблица 2

Кластерный анализ признаков поражения легочной ткани при АЛ по результатам КТ

Признак	Всего		Кластер I		Кластер II		Кластер III		Кластер IV	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Массивное уплотнение легочной ткани	77	81,1	0	0,0	6	60,0	26	81,3	45	91,8
Округлая форма инфильтрата с повышением плотности в центре	45	47,4	4	100,0	2	20,0	22	68,8	17	34,7
Снижение плотности в центре инфильтрата	22	23,2	0	0,0	0	0,0	6	18,8	16	32,7
Расплавление ткани инфильтрата до жидкостной плотности, занимающее практически весь его объем	20	21,1	0	0,0	10	100,0	2	6,3	8	16,3
Воздушная полость с неравномерно утолщенными стенками	89	93,7	4	100,0	10	100,0	31	96,9	44	89,8
Перикавитарная инфильтрация	87	91,6	3	75,0	10	100,0	29	90,6	45	91,8
Единичная полость размерами от 8 до 40 мм	26	27,4	4	100,0	5	50,0	3	9,4	14	28,6
Полости, сообщающиеся между собой	5	5,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5	10,2
Полости, не сообщающиеся между собой	3	3,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	6,1
Поражение одного легкого	90	94,7	4	100,0	9	90,0	31	96,9	46	93,9
Поражение одного сегмента легкого	75	78,9	0	0,0	7	70,0	32	100,0	36	73,5
Наличие в полости секвестров	7	7,4	0	0,0	1	10,0	2	6,3	4	8,2
Формирование рубца звездчатой формы	15	15,8	1	25,0	0	0,0	14	43,8	0	0,0
Формирование небольшой остаточной полости	58	61,1	1	25,0	6	60,0	3	9,4	48	98,0

На основании данных, представленных в табл. 2, признаки могут быть разделены на две группы — часто встречающиеся и редко встречающиеся.

К первому кластеру относятся условно высоко-распространенные признаки — поражение одного легкого, воздушная полость с неравномерно утолщенными стенками, наличие перикавитарной инфильтрации, массивное уплотнение легочной ткани, поражение одного сегмента легкого. Отдельно в этом кластере стоит признак “формирование небольшой остаточной полости”, который был нехарактерен для больных из группы II.

Ко второму кластеру признаков относятся мало-распространенные признаки, т.е. встречающиеся только у ряда больных. Среди них — наличие полостей, а также наличие в них секвестров, формирование рубца звездчатой формы, снижение плотности в центре инфильтрата. Отдельно в этом кластере стоит признак “округлая форма инфильтрата с наличием повышения плотности в его центре”, который нехарактерен для пациентов из группы I, но относительно часто встречается у пациентов группы II.

Дифференциальный диагноз АЛ следует проводить со следующими заболеваниями, сопровождающимися легочной деструкцией: с деструктивной пневмонией; с кавернозным туберкулезом; с буллезной эмфиземой на фоне опеченения; с мицетомой; с кистой легкого и бронхоэктазами на фоне пневмонической инфильтрации. В основе дифференциальной диагностики должны лежать клинические данные, результаты КТ и динамика проводимого лечения.

АЛ, особенно при его хроническом течении, может не сопровождаться высокой лихорадкой, в отличие от деструктивных пневмоний. При деструктивной пневмонии отмечаются, как правило, более обширные зоны уплотнения легочной ткани и множественные полости распада, чем при АЛ. Отличительной особенностью туберкулезной каверны является отсутствие перикавитарной инфильтрации, характерной для АЛ. Типичным проявлением мицетомы является симптом «погремушки» в виде полуня, смещаемого при перемене положения тела. Дифференциальный диагноз АЛ с кистой, буллой и бронхоэктазами на фоне пневмонической инфильтрации базируется только на основании динамической КТ. В отличие от АЛ, исходом которого могут быть полное восстановление легочной паренхимы, а также воздушная остаточная полость и рубец, размеры и форма легочных кист, булл и бронхоэктазов обычно не меняются.

Выводы

Таким образом, КТ является высокоинформативным методом диагностики абсцесса легкого. По сравнению с традиционной рентгенографией КТ позволяет наиболее точно определить локализацию и распространенность патологического процесса в грудной клетке и выявлять наличие полостей деструкции легочной ткани, что, в свою очередь, определяет выбор адекватной лечебной тактики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарев А.В., Камалов И.И., Ренейков А.В. Современная рентгеноэндоскопическая и лучевая диагностика и лечение бронхолегочной патологии. — Казань, 2001, 22 с.
2. Власов П.В. Лучевая диагностика заболеваний органов грудной полости. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом Видар-М, 2008, 86 с.
3. Гембицкий Е.В., Комаров Ф.И. Военно-полевая терапия. — М.: Медицина, 1983, 254 с.
4. Коровина О.В. Острая пневмония. Руководство по пульмонологии. — Л.: Медицина, 1978, 319 с.
5. Стручков В.И. Гнойные осложнения при острых пневмониях // Острые пневмонии — М.: Медгиз, 1961, С. 148–154.
6. Chierakul W., Winothai W., Wattanawaitunechai C. et al. Melioidosis in 6 tsunami survivors in southern Thailand. // Clin. Infect. Dis., 2005, **41**, No. 7. P. 982–990.
7. Doherty G., Companies M. Current diagnosis and treatment surgery. — McGraw Hill Professional, 2009, P. 33–36.
8. Hirshberg B., Sklair-Levi M., Nir-Paz R. et al. Factors predicting mortality of patients with lung abscess. // Chest. Mar., 1999, **115**, No. 3. P. 746–750.
9. Mwandumba H.C., Beeching N.J. Pyogenic lung infections: factors for predicting clinical outcome of lung abscess and thoracic empyema. // Curr. Opin. Pulm. Med., 2000, **6**, No. 3. P. 234–239.
10. Pohlson E.C., McNamara J.J., Char C. et al. Lung abscess: a changing pattern of the disease. // Amer. J. Surg., 1985, **150**, No. 1. P. 97–101.
11. Schiza S., Siafakas N.M. Clinical presentation and management of empyema, lung abscess and pleural effusion. // Curr. Opin. Pulm. Med., 2006, **12**, No. 3. P. 205–211.
12. Umemori Y., Hiraki A., Murakami T. et al. Chronic lung abscess with *Pasteurella multocida* infection. // Intern. Med., 2005, **44**, No. 7. P. 754–756.
13. Шойхет Я.Н., Роцев И.П., Заремба С.В. Острый абсцесс и гангрена легких. // В кн.: «Респираторная медицина». Руководство в 2-х томах, Т.1, 2007, С. 224–230.

Поступила: 27.12.2012

Принята к публикации: 23.05.2013

Л.Я. Клеппер

**ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛОСКОКЛЕТОЧНОГО РАКА
ГОРТАНИ**

L.Ia. Klepper

**The Approached Estimation of Radiobiological Model Parameters for Larynx
Squamous Cell Carcinoma**

РЕФЕРАТ

Предложена методика приближенного определения параметров радиобиологической модели плоскоклеточного рака гортани (ПРГ) методом трех графиков (ТГ) и параметров линейно-квадратичной (LQ) функции. Полученные значения радиобиологических параметров ПРГ (число опухолевых клеток и их радиочувствительность) хорошо согласуются с экспериментальными значениями параметров, определенных *in vitro*.

Ключевые слова: лучевая терапия, математические модели, плоскоклеточный рак гортани

ABSTRACT

Purpose: To determine the radiobiological model parameters of a larynx squamous cell carcinoma by a method of Three schedules (TS) and parameters of LQ-function.

Material and methods: TS method for approximate definition of radiobiological parameters of a tumor, number of tumoral cells and their radiosensitivity are described.

Results: With the help of TS method the radiobiological parameters of tumor are approximately determined: number of tumor cells N ; their radiobiological characteristics $\gamma = \alpha + \beta d$, where d – a single dose; also for the first time the method of definition intervals in which parameters LQ of function should lay is considered.

Conclusions: Received results appear to be in good concord with experimental values of radiobiological parameters determined *in vitro*.

Key words: radiotherapy, mathematical models, larynx squamous cell carcinoma

Введение

Актуальной проблемой лучевой терапии (ЛТ) злокачественных опухолей является определение параметров их радиобиологических моделей на множестве систематизированных клинических результатов ЛТ. В их число входит количество виртуальных клеток в опухолевой ткани и их радиочувствительность. Они необходимы для эффективного планирования ЛТ, выбора суммарной опухолевой дозы (СОД) и схемы ее фракционирования во времени в зависимости от типа опухоли, ее объема и локализации в теле пациента.

В [1–3] нами был описан метод трех графиков (ТГ), который позволяет обрабатывать феноменологические зависимости вероятностей локального излечения (ВЛИ) опухолей от СОД при их равномерном облучении с фиксированной разовой дозой, и, на их основе, находить рациональные интервалы определения радиобиологических параметров модели, т.е. число клоновых клеток и их радиочувствительность. Метод ТГ был использован нами для определения параметров моделей немелкоклеточного рака легкого и лимфомы Ходжкина [1–3].

Характерный показатель радиочувствительности опухолевых клеток при их равномерном облучении имеет следующий вид: $\gamma = \alpha + \beta d$, где d – разовая доза; α и β – параметры LQ-функции, которую используют для описания выживаемости опухолевых клеток в зависимости от условий их облучения. С помощью LQ-функции можно оценивать число виртуальных клеток в опухоли при различных равномерных и неравномерных схемах фракционирования дозы облучения во времени, и, тем самым, определять наиболее эффективные планы ЛТ.

Цель работы заключалась в приближенном определении параметров радиобиологической модели плоскоклеточного рака гортани (ПРГ) методом ТГ, параметров LQ-функции, их анализ и сравнение с экспериментально определенными значениями параметров плоскоклеточного рака *in vitro*.

Материал и методы

Были использованы следующие математические модели:

LQ-модель. Относительное число выживших опухолевых клеток, описанное с помощью LQ-функции, имеет следующий вид [4, 5]:

$$C(D, d) = \exp[-D(\alpha + \beta d)], \quad (1)$$

где $D = nd$ – СОД, n – число сеансов облучения, α и β – параметры LQ-функции. Общее количество выживших клоновых клеток в опухоли в результате ЛТ описывается выражением: $N(D, d) = N_0 \exp[-D(\alpha + \beta d)]$, где N_0 – число клеток в опухоли. Обычно параметры, характеризующие радиочувствительность опухолей, задаются в виде: $\tau = \alpha / \beta$ или $\gamma = \alpha + \beta d$.

Распределение Пуассона. В работах [1–3] мы показали, что если клиническая информация о реакции опухоли на облучение соответствует большим значениям ВЛИ и СОД, тогда для ее обработки и описания зависимости ВЛИ опухоли от СОД при ее равномерном облучении с постоянной разовой дозой d может быть использовано распределение Пуассона.

$$P(D, N_0, d) = \exp[-N_0 \times C(D, d)] = \exp\{-N_0 \exp[-D(\alpha + \beta d)]\}, \quad (2)$$

Параметры LQ-функции (α , β) характеризуют радиочувствительность опухолевых клеток. Выражение (2) может быть переписано следующим образом:

$$P(D, N_0) = \exp\{-N_0 \exp[-\gamma D]\} = \exp\{-\rho V \exp[-\gamma D]\}, \quad (3)$$

где V – объем опухолевой ткани, ρ – число виртуальных опухолевых клеток в единице объема (объемная плотность опухолевых клеток). В модели Пуассона предполагается, что опухолевые клетки независимы и ВЛИ опухоли есть вероятность инактивации всех опухолевых клеток.

Определение параметров опухоли методом трех графиков (ТГ). Метод ТГ [1–3] был разработан для приближенного определения параметров модели опухоли – числа виртуальных опухолевых клеток N и параметра их радиочувствительности γ . Он основан на локальной обработке феноменологических зависимостей ВЛИ от СОД [6–9] с помощью модели Пуассона (2,3). Суть метода заключается в том, чтобы для двух близких, но последовательно увеличивающихся значений СОД, и соответствующих значений ВЛИ с помощью модели Пуассона определять зависимости локальных параметров опухоли, N и γ , от СОД:

$$\gamma = \frac{\ln(P(D_1))}{\ln(P(D_2))} / (D_2 - D_1),$$

$$N = \frac{|\ln(P(D_1))|}{\exp(-\gamma D_1)}, \quad (4)$$

где $P(D)$ – ВЛИ опухоли при СОД $= D$. С помощью формулы (4) мы получаем локальный «мгновенный снимок» структуры опухолевой ткани и строим ее графическую зависимость от СОД. Интерактивный

анализ полученных зависимостей позволяет выделить эффективные значения параметров опухоли. Заметим, что в (4) параметры γ и N зависят только от значений ВЛИ в двух близких значениях СОД. Поскольку при неограниченном увеличении СОД разница между значениями $D_2 - D_1$ остается постоянной, а $P(D_2) - P(D_1) \rightarrow 0$, величина $\gamma \rightarrow \infty$ (4). Следовательно, допустимый интервал значений ВЛИ должен быть ограничен сверху.

Метод ТГ состоит из трех последовательных шагов. На первом шаге на основе клинической информации строятся феноменологические зависимости ВЛИ от СОД. В результате их анализа определяется (задается) «рабочий» интервал, в котором должны находиться ВЛИ опухоли. Для этого интервала находят соответствующий «рабочий» интервал для СОД. На втором и третьем шаге, на графиках, которые описывают зависимости N от СОД и γ от СОД, построенных с помощью (4), определяют интервалы, в которых лежат указанные параметры.

Заметим, что если нам достоверно известно значение одного из параметров опухоли, N или γ , второй параметр можно определить, используя значение СОД, соответствующее известному параметру. С его помощью можно также определить используемый «рабочий» уровень ВЛИ опухоли. Если известны зависимости ВЛИ от СОД для двух разных разовых доз, d_1 и d_2 , и методом ТГ определены $\gamma_1 = \alpha + \beta d_1$ и $\gamma_2 = \alpha + \beta d_2$, тогда у специалиста появляется возможность определять значения параметров LQ-функции, т.е. α и β . Формулы для определения этих параметров будут описаны ниже.

Результаты

В зависимости от исходной клинической информации о зависимостях ВЛИ опухоли от СОД и методах ее обработки, возникают различные задачи определения параметров LQ-функции, α и β . Обычно в распоряжении специалистов оказываются величины $\tau = \alpha / \beta$ и $\gamma = \alpha + \beta d$ или различные их сочетания. Используя их, необходимо определить параметры α и β .

В настоящее время предполагается, что приближенно отношения параметров LQ-функции $\tau = \alpha / \beta$ для нормальных и опухолевых тканей имеют следующие значения:

Нормальные органы и ткани:

$$\tau = \alpha / \beta \text{ Гр.} \quad (5)$$

Опухолевые ткани:

$$\tau = \alpha / \beta = 10 \text{ Гр.} \quad (6)$$

Как показали дальнейшие исследования, приближения (5)–(6) нуждаются в уточнениях. Рассмотрим различные задачи, связанные с определением параметров LQ-функции.

Задача 1. Заданы $\gamma = \alpha + \beta d$ и $\tau = \alpha / \beta$. Определить параметры α и β .

Решение. $\alpha = \frac{\tau \times \gamma}{\tau + d}, \beta = \frac{\gamma}{\tau + d}.$ (7)

Задача 2. Заданы значения $\gamma_1(d_1) = \alpha + \beta d_1$ и $\gamma_2(d_2) = \alpha + \beta d_2$. Определить параметры α и β .

Решение. $\alpha = \frac{\gamma_2 d_1 - \gamma_1 d_2}{d_1 - d_2}, \beta = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{d_1 - d_2}.$ (8)

Задача 3. Заданы условия облучения опухоли (D_1, d_1) и (D_2, d_2) , которые приводят к одинаковым значениям ВЛИ: $P_1(D_1, d_1) = P_2(D_2, d_2)$. Необходимо определить параметры LQ-функции.

Решение. Пусть значения ВЛИ и СОД достаточно велики для того, чтобы можно было бы использовать распределение Пуассона [1–3]. Имеем:

$$P_1(D_1, d_1) = \exp\{-N \exp[-D_1(\alpha + \beta d_1)]\}, \quad (9)$$

$$P_2(D_2, d_2) = \exp\{-N \exp[-D_2(\alpha + \beta d_2)]\}. \quad (10)$$

Если число опухолевых клеток N известно, получаем систему из двух уравнений с двумя неизвестными. В противном случае задача неразрешима. Полагая, что число опухолевых клеток известно, из (9) и (10) получаем:

$$\alpha + \beta d_1 = \frac{1}{D_1} \ln \left| \frac{h P_1}{N} \right| = \gamma_1,$$

$$\alpha + \beta d_2 = \frac{1}{D_2} \ln \left| \frac{h P_2}{N} \right| = \gamma_2. \quad (11)$$

Решение задачи 3 сводится к решению задачи 2.

Задача 4. Заданы значения ВЛИ и условия облучения опухоли $P_1(D_1, d_1, N_1)$ и $P_2(D_2, d_2, N_2)$, где N_1 и N_2 – заданное число опухолевых клеток. Необходимо определить параметры LQ-функции.

Решение задачи 4 осуществляется методом, описанным в задаче 3.

Задача 5. Исходная клиническая информация состоит из уравнений вида $\alpha + \beta d_i = \gamma_i, i = 1, \dots, n > 2$. Определить эффективные значения параметров α и β .

Решение. Эффективные значения параметров LQ-функции можно определить методом наименьших квадратов или методами линейного программирования.

Задача 6. Задано $\gamma = \alpha + \beta d$ и d . Необходимо приближенно определить радиобиологические параметры LQ-функции: α и β .

Решение. В задаче 1 мы показали, что эта проблема легко разрешается, если известна величина α / β (или β / α). Приближенные значения параметров α и β могут быть определены в результате анализа извест-

ных отношений α / β (или β / α) для различных типов опухолей и выбора их статистического среднего значения, и в использовании его в качестве дополнения к уравнению $\gamma = \alpha + \beta d$. Разумеется, результат такой операции окажется тем точнее, чем меньше будет отклонение величин α / β от соответствующего среднего значения.

В табл. 1 приводятся значения параметров LQ-функции α, β и их отношения α / β для 6 типов опухолевых клеток, определенных *in vitro* [10]. Полученное для них среднее отношение $\tau_{sr} = (\alpha / \beta)_{sr} = 6,89 < 10$ Гр было использовано нами для завершения работы по приближенному определению параметров LQ-функции α и β для ПРГ.

Таблица 1

Параметры LQ-функции для различных типов опухолевых клеток, взятые из работ [10]

№	Тип опухоли	α Гр ⁻¹	β Гр ⁻²	α / β Гр	β / α Гр ⁻¹	γ Гр ⁻¹
1	Глиобластома	0,241	0,029	8,31	0,120	0,299
2	Меланома	0,255	0,053	4,81	0,208	0,361
3	Плоскоклеточный рак	0,273	0,045	6,07	0,165	0,363
4	Аденокарцинома	0,311	0,055	5,65	0,177	0,421
5	Лимфома	0,451	0,051	8,48	0,113	0,553
6	Мелкоклеточный рак	0,650	0,081	8,02	0,125	0,812
7	Средние значения			6,89	0,151	

Примечание:

Разовая доза $d = 2$ Гр. В строке 7 приводятся средние значения параметров α / β и β / α

Воспользуемся методом ТГ для определения радиобиологических параметров ПРГ [8]:

Шаг 1. На основе систематизированной клинической информации о частотных характеристиках излучения ПРГ в зависимости от СОД по табл. 2 (объем опухоли 1 см³, число виртуальных клеток $N = 10^9$ [8]), с помощью двух моделей, модифицированного распределения вероятностей Вейбулла (МРВ) и нормального распределения вероятностей (НРВ), были построены феноменологические зависимости ВЛИ от СОД.

Таблица 2

Частотные характеристики и соответствующие им средние значения СОД для ПРГ объемом в 1 см³, полученные в [8].

№	Средние значения СОД в Гр	Частота резорбции опухоли
1	38,0	0,010
2	42,5	0,400
3*	47,5	1,000
4	52,5	0,666
5	57,5	0,500
6	62,5	0,833
7*	67,5	0,600
8	72,5	0,990

Примечание:

* – частотные характеристики, которые были опущены как ненадежные

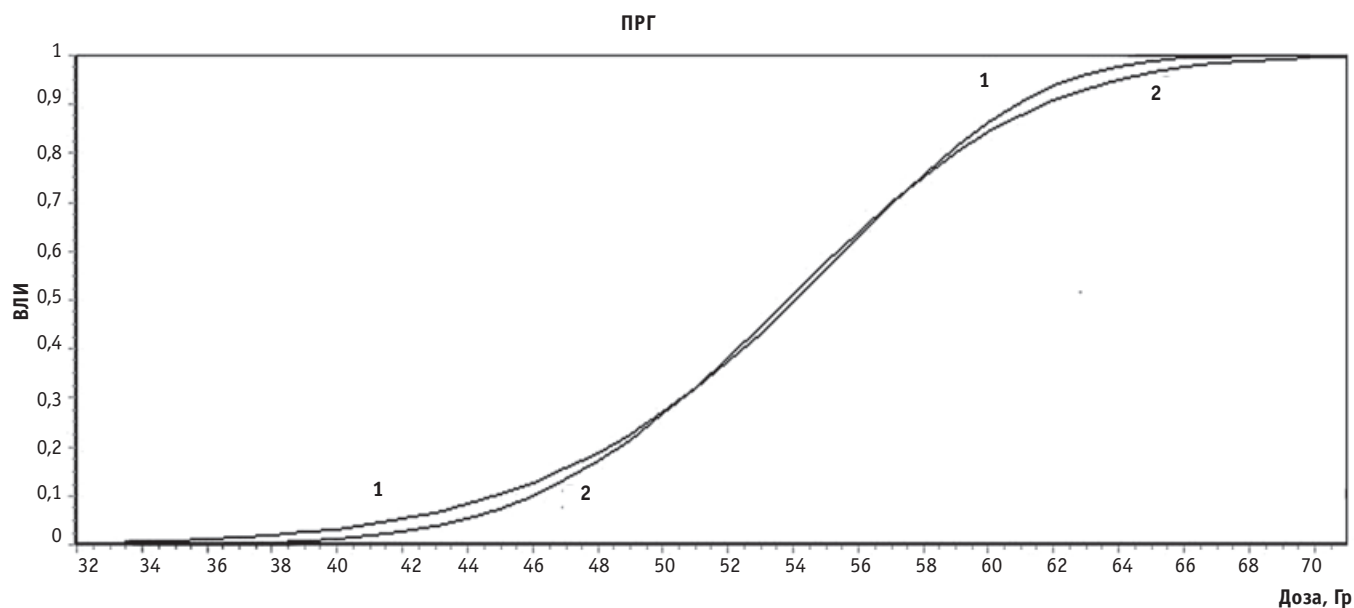


Рис. 1. Зависимости ВЛИ ПРГ от СОД, рассчитанные с помощью модели МРВ (кривая 1) и модели НРВ (кривая 2).
График, соответствующий НРВ, более пологий по сравнению с распределением Вейбулла

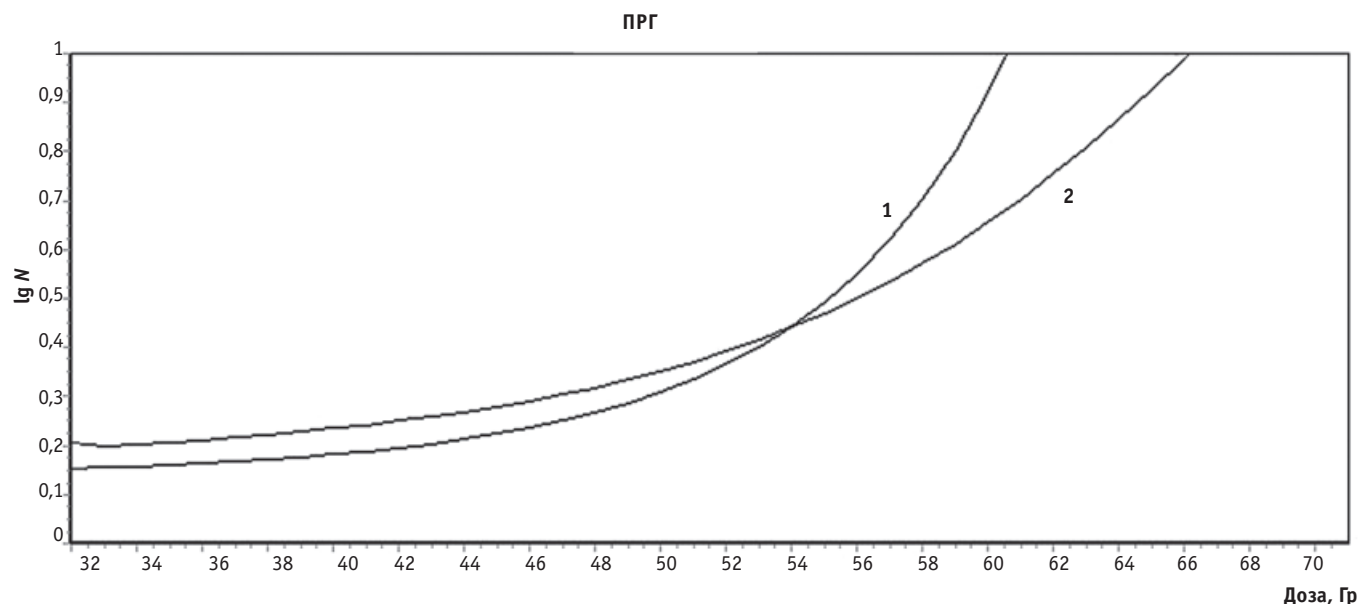


Рис. 2. Зависимости $\lg N$ от СОД, полученные с помощью модели МРВ (кривая 1) и модели НРВ (кривая 2).
Число опухолевых единиц можно рассчитать по формуле: $N = 10^{\lg N}$

Они имеют следующий аналитический вид:

$$\text{МРВ: } P(D) = 1 - \exp\left[-(D/56,058)^{10,113}\right] \quad (12)$$

$$\text{НРВ: } P(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{X^2}{2}\right) dD,$$

$$X = \frac{D - 53,84}{6,12}. \quad (13)$$

Графики зависимостей ВЛИ от СОД, описанные с помощью двух моделей, приводятся на рис. 1 (МРВ – кривая 1, НРВ – кривая 2). Сравнительный анализ показывает, что они близки друг к другу. Не-

которые расхождения наблюдаются при малых значениях СОД (до 50 Гр) и больших значениях СОД (больше 58 Гр).

Шаг 2. Задается интервал определения ВЛИ. Мы выбрали: $\text{ВЛИ} \in (0,95; 0,99)$. С его помощью были определены интервалы изменения СОД. Для МРВ и НРВ они оказались равным $\text{СОД} \in (64, 68)$ Гр.

Шаг 3. С помощью моделей МРВ, НРВ и модели Пуассона по формуле (4) были построены зависимости N от СОД и γ от СОД. Их графики приводятся на рис. 2 и рис. 3.

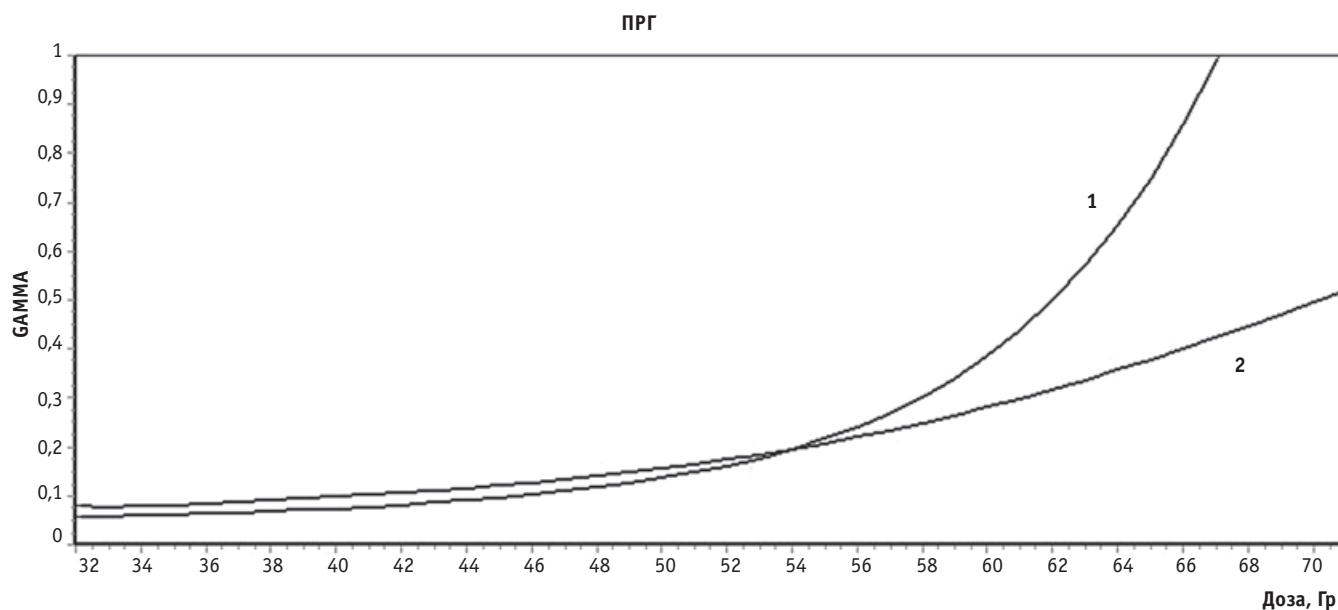


Рис. 3. Значение параметра (GAMMA) в зависимости от СОД для модели МРВ (кривая 1) и модели НРВ (кривая 2)

Таблица 3

Интервалы определения параметров ПРГ, числа опухолевых клеток N и параметров радиочувствительности опухолей $\gamma = \alpha + 2\beta \text{Гр}^{-1}$, полученных в результате применения метода ТГ

Модель распределения ВЛИ	Интервал значений ВЛИ	Интервал значений СОД, Гр	Интервал значений N	Интервал значений γ , Гр^{-1}	Интервал значений α , Гр^{-1}	Интервал значений β , Гр^{-2}
МРВ	0,95–0,99	64–68	$3,25 \times 10^{16} - 1,18 \times 10^{30}$	0,654–1,122	0,507–0,580	0,074–0,126
НРВ	0,95–0,99	64–68	$4,50 \times 10^8 - 1,70 \times 10^{11}$	0,358–0,448	0,277–0,350	0,040–0,050

Примечание:

С помощью дополнительного соотношения $\alpha/\beta = 6,89$ (табл. 1) рассчитаны приближенные значения параметров LQ-функции α и β . Интервал значений N , полученный для МРВ, выходит за разумные пределы и приводится нами только как пример неудовлетворительного применения метода ТГ

С их помощью в соответствии с определенными интервалами изменения СОД были выделены интервалы определения числа виртуальных клоновых клеток N и значений параметра γ (табл. 3).

Интервалы определения параметров N и γ имеют следующий вид:

Для МРВ:

$$3,25 \times 10^{16} < N < 1,18 \times 10^{30}, 0,654 < \gamma < 1,122. \quad (14)$$

Для НРВ:

$$4,50 \times 10^8 < N < 1,70 \times 10^{11}, 0,358 < \gamma < 0,448. \quad (15)$$

Используя (14) и (15), а также среднее значение отношения параметров α и β , $\tau_{sr} = 6,89 \text{ Гр}$, в результате решения задачи 1 мы получаем интервалы, в которых определены параметры α и β :

$$\text{Для МРВ: } 0,507 < \alpha < 0,580, 0,074 < \beta < 0,126. \quad (16)$$

$$\text{Для НРВ: } 0,277 < \alpha < 0,350, 0,040 < \beta < 0,050. \quad (17)$$

Обсуждение и выводы

В настоящей работе у нас оказалась замечательная возможность сравнить результаты определения параметров радиобиологической модели ПРГ мето-

дом ТГ с радиобиологическими параметрами плоскоклеточного рака, определенными экспериментально (*in vitro*) и использованными в работах [10, 11]. Экспериментальные значения радиобиологических параметров LQ-функции для плоскоклеточного рака имеют следующий вид [10]:

$$\gamma_0 = 0,363 \text{ Гр}^{-1}, \alpha_0 = 0,273 \text{ Гр}^{-1}; \beta_0 = 0,045 \text{ Гр}^{-2}. \quad (18)$$

Для разовой дозы 2 Гр значение параметра γ_0 будет: $\gamma_0 = \alpha_0 + \beta_0 \times 2 = 0,363 \text{ Гр}^{-1}$.

Сравнительный анализ полученных результатов (табл. 3) с экспериментальными данными (18) свидетельствует о том, что:

1. Для определения параметров ПРГ методом ТГ следует использовать модель НРВ, т.к. клинические данные о ПРГ соответствуют объему опухоли 1 см³ и $N = 10^9$ клеток, а они удовлетворяют неравенству (15), но не удовлетворяют неравенству (14).

2. Аналогично обстоит дело и с определенным в эксперименте параметром γ . Он удовлетворяет неравенству (15) и не удовлетворяет неравенству (14).

3. Используя интервалы определения параметра γ , полученные методом ТГ, мы доопределили интервалы, в которых должны лежать параметры α и β . Для НРВ они имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} 0,358 < (\gamma_0 = 0,363) < 0,448; \\ 0,277 \approx (\alpha = 0,273) < 0,350; \\ 0,040 < (\beta = 0,045) < 0,050. \end{aligned} \quad (19)$$

Анализ (19) свидетельствуют о том, что экспериментально полученные параметры плоскоклеточного рака лежат в определенных нами интервалах для ПРГ и это имеет место только для модели НРВ (табл. 3).

Таким образом, используя модель НРВ для описания зависимости ВЛИ от СОД для ПРГ, мы получили хорошее соответствие между экспериментально определенными параметрами LQ-модели плоскоклеточного рака [10] и параметрами, полученными в результате применения метода ТГ. Вопрос об эффективности использования различных феноменологических моделей для описания ВЛИ от СОД по методу ТГ в настоящее время остается открытым. Представляет интерес тот факт, что экспериментально определенные параметры опухоли близки к левым границам интервалов их определения, полученных методом ТГ, т.е. к ВЛИ = 0,95. Является ли этот факт закономерным, покажут дальнейшие исследования.

В настоящее время бытует представление о том, что опухоль состоит из определенного числа независимых клеток. Если это так, тогда вероятность излечения опухоли (гибели всех составляющих ее клеток) должна хорошо описываться с помощью распределения Пуассона. Однако опыт показывает, что это не так. Зависимость ВЛИ от СОД хорошо описывается

феноменологическими моделями МРВ и НРВ (рис. 1), но эти модели приводят к близким значениям зависимостей ВЛИ от СОД с моделью Пуассона только для больших терапевтических значений ВЛИ и СОД. На рис. 4 приводятся графики, построенные с помощью модели МРВ и модели Пуассона. Аналогичное соотношение мы получим и для МРВ, т.к. графики зависимости ВЛИ от СОД, построенные с помощью моделей МРВ и НРВ близки друг к другу (рис. 1).

Таким образом:

1. Модель Пуассона и модели НРВ и МРВ приводят к близким значениям зависимостей ВЛИ от СОД только в области высоких терапевтических значений СОД и ВЛИ. При малых значениях СОД (меньше 50 Гр, рис. 4) модель Пуассона приводит к значениям ВЛИ, практически равным нулю, в то время как феноменологические модели МРВ и НРВ при СОД = 50 Гр приводят к значениям ВЛИ $\approx 0,3$ (рис. 1, рис. 4).
2. Если феноменологические модели адекватно описывают зависимости ВЛИ от СОД в области малых СОД, тогда необходимо объяснить, каким образом это обстоятельство может быть согласовано с независимостью опухолевых клеток. В табл. 2 приводятся частотные характеристики локального излечения ПРГ в зависимости от СОД, которые были использованы для настройки параметров моделей НРВ и МРВ. Они также свидетельствуют о том, что для СОД = 50 Гр ВЛИ не может быть равной нулю, что не согласуется с поведением графика, построенного с помощью модели Пуассона.
3. Необходимо также качественно объяснить полученные зависимости N и γ от СОД (рис. 2 и рис. 3).

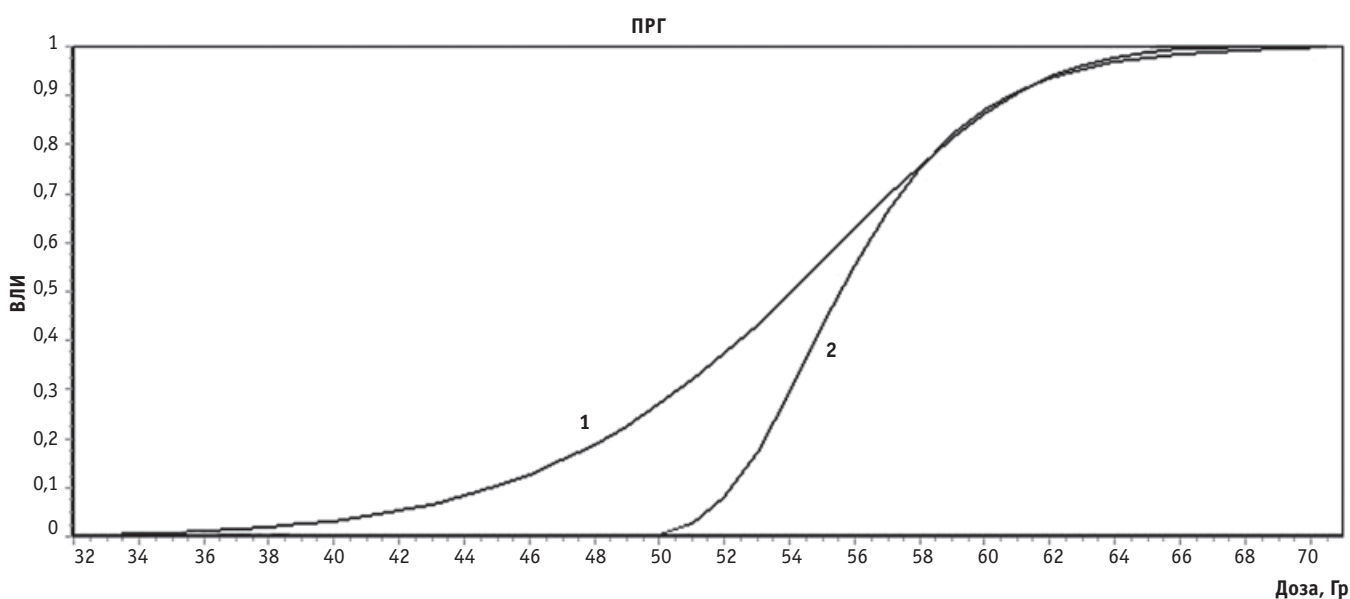


Рис. 4. Зависимости ВЛИ ПРГ от СОД для модели МРВ (кривая 1) и модели Пуассона (кривая 2). Для СОД больше 57 Гр (ВЛИ > 0,7) графики близки друг к другу, для СОД < 57 Гр графики расходятся. Для СОД меньше 50 Гр модель Пуассона приводит к значениям ВЛИ, практически равным нулю

Из графиков, представленных на этих рисунках, следует, что при малых значениях СОД число N меньше предполагаемого числа опухолевых клеток (10^9 клеток) и оно монотонно растет с ростом СОД.

Таким образом, мы оказались перед необходимостью высказать предположение (гипотезу) о причине возникновения такой проблемы. У нас есть две возможности.

1. Можно «отмахнуться» от проблемы, заявив, что модель Пуассона не «работает» при малых значениях СОД и ВЛИ.

2. Можно предположить, что при малых СОД и ВЛИ, полученная величина $N < N_0$ это не число опухолевых клеток, а число независимых тканеподобных агломераций (образований) из опухолевых клеток, радиочувствительность которых $\gamma < \gamma_0$ (меньше радиочувствительности отдельной опухолевой клетки). Число клеток в опухоли остается неизменным и равно N_0 , а число клеток в агломерации опухолевых клеток (которую можно назвать и опухолевой единицей) на разных стадиях облучения будет в среднем равно $N < N_0$. Радиочувствительность агломерации опухолевых клеток будет $\gamma < \gamma_0$ (очевидно, это преимущество некоторой «тканевой организованности» клеток).

При СОД = 32 Гр (ВЛИ $< 0,7 \times 10^{-3}$) число опухолевых единиц примерно равно $113 < 10^9$ клеток. Радиочувствительность опухолевых единиц также меньше истинной радиочувствительности опухолевых клеток. При СОД = 32 Гр, $\gamma = 0,080 \text{ Гр}^{-1}$ и значение γ монотонно растет с ростом СОД до ($\gamma = 0,363 \text{ Гр}^{-1}$).

Согласно рис. 2, в 1 см^3 опухолевой ткани число опухолевых единиц равно примерно 113 и, следовательно, опухолевая единица в виде агломерации опухолевых клеток ПРГ содержит около $10^9/113 = 8,84 \times 10^6$ клеток. Можно предполагать, что опухолевые единицы являются независимыми.

Из рис. 3 следует, что вначале ЛТ радиочувствительность опухолевой единицы составляет около $\gamma = 0,080 \text{ Гр}^{-1}$ (при СОД = 32 Гр, ВЛИ $< 0,7 \times 10^{-3}$). С ростом СОД число опухолевых единиц N монотонно растет до $N_0 = 10^9$ (т.е. до числа опухолевых клеток в единичном объеме ПРГ), а их радиочувствительность монотонно увеличивается до $\gamma = 0,363 \text{ Гр}^{-1}$.

Нетрудно видеть, что если предлагаемая гипотеза верна, тогда между феноменологическим описанием ВЛИ от СОД и описанием ВЛИ с помощью модели Пуассона будет наблюдаться полное соответствие. Для этого нам пришлось предположить, что опухоль состоит из независимых опухолевых единиц, в которых агломерации клеток находятся в некотором связанном состоянии и радиочувствительность составляющих их связанных клеток, примерно, в $0,363/0,08 = 4,5$ раза меньше радиочувствительности опухолевых клеток, полученных *in vitro*. В процессе облуче-

ния опухолевые единицы разрушаются и, в конечном счете, при высоких терапевтических значениях СОД, опухоль можно рассматривать как систему, состоящую из независимых опухолевых клеток.

Очевидно, что при экспериментальном определении параметров радиочувствительности опухолевых клеток их можно рассматривать как независимые, т.к. их число в колонии клеток относительно мало и, скорее всего, они не образуют опухолевых единиц (агломераций).

Можно также предположить, что при комбинированном лучевом лечении, (химиотерапия+ЛТ), химиотерапия приводит к частичному разрушению опухолевых единиц (агломераций) и гибели некоторого количества опухолевых клеток и, тем самым, к повышению «обобщенной» радиочувствительности опухолевых клеток.

Если предложенная гипотеза верна, тогда возникает чрезвычайно важный вопрос о том, можно ли эту информацию использовать для повышения эффективности планирования ЛТ опухолевых заболеваний?

Несомненно, что математические модели, которые используются для описания реальных процессов лучевого воздействия на опухолевые ткани, являются приближенными, но верно также и то, что методы математического моделирования позволяют исследователю получить информацию о свойствах моделируемого объекта, столь необходимую для его дальнейшего изучения.

Если радиочувствительность опухолевых клеток зависит от их локализации, тогда метод ТГ представляет возможность определить истинные параметры радиобиологической модели опухоли, привязанные к ее локализации в теле пациента, и столь необходимые для выбора наиболее эффективного плана лучевого лечения.

Выводы

Полученные нами результаты по определению радиобиологических параметров ПРГ свидетельствуют о том, что метод ТГ может быть успешно использован для приближенного определения значений радиобиологических параметров опухолей на основе феноменологических описаний зависимостей ВЛИ опухолей от СОД, а также для расчета параметров (коэффициентов) LQ-функции.

Автор будет признателен читателям за критические замечания и пожелания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кленнер Л.Я., Юрьева Т.В. Определение параметров немелкоклеточного рака легкого методом трех графиков: число клоногенных клеток и их радиочувствительность. // Мед. физика, 2012, № 1(53), С.17–26.

2. Кленнер Л.Я. Моделирование вероятности излечения лимфомы Ходжкина (задача определения числа опухолевых клеток и их радиочувствительности методом трех графиков). // Мед. физика, 2012, № 2(54), С. 12–19.
3. Кленнер Л.Я., Юрьева Т.В. Определение параметров опухоли (число клеток и их радиочувствительность) на основе феноменологического описания вероятности ее локального излечения от дозы облучения. // 5-я Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине», (ТКМФ-5), Троицк Московской обл., 4–7 июня 2012 г. С.375–377.
4. Kellner A.M., Rossi H.H. RBE and the primary mechanism of radiation action. // Radiat. Res., 1971, **47**, No. 1, P. 14–34.
5. Chadwick K.H., Leenhouts H.P. A molecular theory of cell survival. // Phys. Med. Biol., 1973, **18**, No. 1, P. 78–87.
6. Кленнер Л.Я. Формирование дозовых полей дистанционными источниками излучения. — М: Энергоатомиздат, 1986, 224 с.
7. Климанов В.А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Часть 3. Лучевая терапия пучками с моделированной интенсивностью. Оптимизация облучения. — М.: МИФИ, 2008, 176 с.
8. Кленнер Л.Я. Математические модели для описания вероятности локального излечения плоскоклеточного рака гортани в зависимости от объема опухоли и суммарной дозы. // Мед. физика, 2009, № 4(44), С. 21–29.
9. Кленнер Л.Я. Формирование дозовых полей радиоактивными источниками излучения. — М.: Энергоатомиздат, 1993, 273 с.
10. Malaise E., Fetil B., Chavaudra N. et al. Distribution of radiation sensitivities for human tumor cells of specific histological type: comparison of *in vitro* and *in vivo* data. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 1986, **12**, P.617–624.
11. Yaes R.J. Some implications of the linear quadratic model for tumor control probability. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 1988, **14**, No. 1, P. 147–157.

Поступила: 12.03.2012

Принята к публикации: 23.05.2013

**ОСНОВНЫЕ ИТОГИ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОБЛАСТИ РАДИОБИОЛОГИИ ИНКОРПОРИРОВАННЫХ
РАДИОНУКЛИДОВ В ФМБЦ ИМ. А.И. БУРНАЗЯНА****К 50-летию лаборатории токсикологии радиоактивных веществ****Main Results of Work and Perspective of Research in Radiobiology
of Incorporated Radionuclides in A.I. Burnasyan FMBC.
To 50 th anniversary of the laboratory of toxicology of radioactive substances**

Приказ о создании лаборатории токсикологии радиоактивных веществ в Институте биофизики АМН СССР был подписан в январе 1963 г., заведующим был назначен доктор медицинских наук Ю.И. Москалев.

За плечами Ю.И. Москалева был большой опыт работы в Сунгуле в лаборатории «Б», созданной в рамках Атомного проекта СССР в 1946 г.

Прекрасный экспериментатор, физиолог по образованию, Ю.И. Москалев свои научные исследования обобщил в двух томах докторской диссертации «Распределение и токсикология радиоактивных элементов», которая стала настольной книгой многих ученых.

Интенсивное развитие атомной промышленности и ядерной энергетики обусловили широкое внедрение радионуклидов в различные сферы человеческой деятельности. Возможность контакта человека с относительно новым искусственным патогенным фактором потребовала разработки научно обоснованной системы санитарного нормирования. Однако информация о биологическом действии радионуклидов была крайне ограниченной и в ряде случаев полностью отсутствовала. Так, например, нормирование трансурановых нуклидов из-за отсутствия соответствующих экспериментальных данных было проведено по аналогии с ^{226}Ra . Вопросы нормирования не могли быть решены без проведения широких экспериментов на животных, т. к. темп развития атомной промышленности и ядерной энергетики не позволял растянуть получение необходимой информации на долгие годы, сопоставимые с продолжительностью жизни человека.

В этом направлении сначала были исследования в лаборатории Д.И. Закутинского, а с 1963 г. — в лаборатории Ю.И. Москалева.

Было создано несколько научных групп, сотрудники которых решали конкретные задачи по биологическому действию радионуклидов. Практическая и научная проблема обеспечения радиационной безопасности и здоровья персонала атомной промышленности и населения обусловила необходимость проведения экспериментальных исследований в первую очередь с трансурановыми радионуклидами: ^{239}Pu , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm , ^{252}Cf и ^{249}Bk . Исследованиями руководил кандидат медицинских наук, а в будущем доктор медицинских наук Г.А. Заликин.

Для обоснования норм радиационной безопасности при контакте с трансурановыми радионуклидами были получены следующие научные факты:

- наиболее чувствительным и значимым показателем прямого действия трансурановых радионуклидов является возникновение злокачественных опухолей в органах основного депонирования;

- частота и сроки возникновения опухолей зависят от интегральной поглощенной дозы;

- относительная биологическая эффективность изученных α -радионуклидов по способности индуцировать опухоли одинакова и в 20–50 раз выше, чем для β -излучателей;

- повреждающее действие α -излучателей полностью суммируется по времени, вследствие чего для сравнительной оценки канцерогенных эффектов у экспериментальных животных и человека следует пользоваться эффектом интегральных доз, не внося поправочного коэффициента на восстановительные процессы;

- чувствительность лёгочной и костной ткани человека и крыс к действию α -излучателей одинакова, что позволяет осуществить прямой перенос экспериментальных данных на человека.

Одновременно под руководством кандидата медицинских наук, а в будущем доктора медицинских наук, В.Ф. Журавлева проводились уникальные исследования по биологическому действию трития и его соединений.

С целью разработки норм радиационной безопасности были изучены в эксперименте на животных кинетика обмена различных соединений трития при различных путях поступления, в том числе ингаляционном, а также биологические эффекты в ближайшие и отдаленные сроки воздействия.

В результате проведенных исследований были установлены величины ОБЭ для различных соединений трития, установлены предельно-допустимые активности трития в организме человека. Необходимо отметить, что ещё в 1950 г. Ю.М. Штукенбергом были рассчитаны величины ПДК НТО в воздухе и воде, а также смертельные дозы для человека.

Тритий — изотоп биогенного элемента водорода. При поступлении в организм относительно равно-



Москалев Юрий Иванович

мерно распределяется по всем органам и тканям. Обладает политропным воздействием на органы и ткани организма, трансмутационным действием. По данным НКДАР ООН (1988 г.), тритий отнесен к числу семи наиболее опасных радионуклидов, таких как ^{137}Cs , ^{14}C , ^{32}P , ^{226}Ra , ^{239}Pu и ^{241}Am . Поэтому к проблеме трития в настоящее время по-прежнему обращено пристальное внимание ученых. В последних публикациях НКДАР ООН «Биологические эффекты внутреннего облучения» 2012 г. первая часть документа посвящена тритию, вторая урану.

Обобщение результатов зарубежных исследований последних лет показало, что ОБЭ окиси трития в среднем по данным исследований *in vitro* и *in vivo* относительно рентгеновского излучения составляет — 1,4 и 2,2 относительно гамма-квантов, что находится в хорошем соответствии с данными, полученными ранее в экспериментах Ю.И. Москалева и В.Ф. Журавлева.

В документе обсуждается необходимость углубленного изучения не только окиси трития, но и биологического действия органически связанного трития. В этом плане заслуживают внимания эксперименты Н.С. Калязиной с соединениями, меченными тритием, особенно тимидином, который, являясь предшественником ДНК, включается в её структуру.

Изучением особенностей биологического действия ^{14}C занималась группа ученых, руководимых доктором медицинских наук И.Я. Василенко.

^{14}C является изотопом основного биогенного элемента. Облучение носит относительно равномерный характер. Впервые показано, что критическим органом является всё тело и красный костный мозг, а не жировая ткань, как было принято считать. Основную опасность ^{14}C связывают с его трансмутационным действием на генетическую структуру клеток. Большое значение в проявлении биологических эффектов имеет форма поступления в организм соединения —



Заликин Гелий Александрович

органическая или неорганическая. Проведенные всесторонние исследования на лабораторных животных имеют неоспоримую научную ценность в связи с отсутствием данных по токсическому исследованию ^{14}C на человека.

Большое внимание заслуживают исследования по биологическому действию радионуклида ^{137}Cs (период полураспада 30 лет), необходимость изучения которого обусловлена глобальными и аварийными выпадениями радионуклида. Многолетние натурные, теоретические, экспериментальные исследования позволили определить эффективные дозы облучения населения. Обобщение исследований по радиационной опасности от ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{106}Ru , сделанные учеными ФМБЦ им. А.И. Бурназяна Л.А. Булдаковым и Ю.И. Москалевым в монографии «Проблемы распределения и экспериментальной оценки допустимых уровней ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{106}Ru » является уникальным.

Одним из важных научных исследований в лаборатории токсикологии радиоактивных веществ в период 1965—1978 гг. было изучение биологического действия и метаболизма различных соединений урана при ингаляционном и энтеральном поступлении его в организм лабораторных животных. Группу научных сотрудников возглавлял кандидат медицинских наук Г.П. Галибин. На основании экспериментальных данных установлено, что для растворимых соединений урана лимитирующей нормирование величиной является химическая токсичность, т.е. допустимое количество урана в воздухе рабочих помещений будет обеспечивать и радиационную безопасность.

Важное значение, особенно в тот период, имели исследования токсичности бериллия, его соединений и сплавов, потребность в которых с 30-х годов прошлого века неуклонно возрастала как в атомной энергетике, так и в народном хозяйстве. Была установлена высокая токсичность самого металла и его соединений,



Журавлев Валентин Федорович

особенно растворимых. Эксперименты с ^7Be в виде хлорида, фторида, сульфата и нитрата, а также с труднорастворимой гидроокисью бериллия при пероральном введении и ингаляционном поступлении показали большое влияние модифицирующих факторов, таких, как форма вводимого соединения и возраст, на кинетику обмена, уровни отложения в лёгких, в скелете, резорбцию из желудочно-кишечного тракта. Работа проводилась во главе с кандидатом медицинских наук П.Ф. Бугрышевым.

За период с 1963 по 1986 гг. А.М. Лягинской (кандидат, а затем доктор медицинских наук) были изучены и сформированы основные закономерности в реакции гонад и плода на действие таких радионуклидов, как ^{90}Sr , окись трития, ^{131}I , ^{238}Pu , ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{14}C . Результаты изучения биологического действия радионуклидов на плод и генетических эффектов радионуклидов в гонадах относятся к приоритетным как в отечественной, так и мировой радиобиологии.

В научной группе, возглавляемой В.С. Калистратовой, проводились эксперименты с ^{90}Sr , радиоактивными изотопами йода — ^{125}I , ^{131}I , оценивались зависимость «доза—эффект», сравнительная биологическая эффективность радиоактивных изотопов йода и внешнего облучения, изучались отдаленные последствия.

Большое внимание уделялось изучению состояния обмена веществ: белкового, углеводного и жирового при поступлении в организм радионуклидов с различной тропностью к органам и тканям (^{131}I , ^{244}Cm , ^{252}Cf , НТО), а также внешнего облучения.

При изучении биологического действия радионуклидов в лаборатории широко использовались физиологические, патофизиологические, гематологические и морфологические методы исследования, проводимые кандидатами медицинских наук Р.М. Любимовой-Ге-



Бугрышев Павел Федорович

расимовой, И.К. Петровичем, коллективом лаборатории, возглавляемой профессором В.Н. Стрельцовой.

Особое место в исследованиях Ю.И. Москалева и его коллег уделялось проблеме радиационного канцерогенеза. Совместно с В.Н. Стрельцовой были сформированы первые представления и установлены общие закономерности blastomagenного действия радиации, описаны склеротические и опухолевые формы отдаленных последствий при внешнем и внутреннем облучении.

Все научные материалы были обсуждены на съездах, международных и отечественных конференциях. По инициативе Ю.И. Москалева, который был постоянным председателем оргкомитетов, было проведено 13 всесоюзных конференций на базе Института биофизики, где обсуждались вопросы отдаленных последствий действия радиации, биологического действия радиоактивных изотопов йода, переноса экспериментальных данных с животных на человека и другие проблемы.

Необходимо отметить, что лаборатория сотрудничала много лет с научно-исследовательскими институтами радиационной гигиены в Варшаве, Будапеште и с ГУАБЗИ в Берлине.

Ю.И. Москалева не стало в 1988 году. Он ушел из жизни в 68 лет, полный энергии и научных идей, профессор, доктор медицинских наук, заслуженный деятель науки, член Комитета МКРЗ в течение многих лет, председатель, а затем заместитель председателя НКРЗ, член ученого совета Института биофизики МЗ СССР, член ученого комитета по медицинской радиологии при Академии медицинских наук СССР, член совета ВАК — и это неполный перечень его научной и организационной деятельности. Как участник Великой Отечественной войны Юрий Иванович был награжден орденом Отечественной войны I степени. За

исследования на зараженных радионуклидами территориях и организацию срочных мероприятий по ликвидации последствий аварии на комбинате «Маяк» в 1957 году он был награжден орденом Ленина.

Его книги являются настольными для многих ученых радиотоксикологов — это «Минеральный обмен» 1985 г., «Радиобиология инкорпорированных радионуклидов» 1989 г., «Отдаленные последствия ионизирующих излучений» 1991 г. и многие другие — всего более 15 монографий.

Одним из главных научных коллективных достижений, имеющих большое практическое значение, явился справочник «Радиоактивные вещества» под общей редакцией Л.А. Ильина и В.А. Филова, 1990 г.

Переработанное и дополненное новое справочно-энциклопедическое уникальное издание «Вредные вещества в окружающей среде» под редакцией И.Я. Василенко, В.А. Филова, А.В. Москвина вышло в свет в 2006 г.

В период перестройки, затем в период чернобыльских событий в проблеме радиобиологии инкорпорированных радионуклидов большое внимание уделялось изучению влияния модифицирующих факторов на развитие биологических эффектов. В лаборатории радиобиологии инкорпорированных радионуклидов в течение последующих 25 лет под руководством В.С. Калистратовой были получены новые научные данные по модификации кинетики обмена и биологических эффектов радионуклидов с разным характером распределения: ^{131}I , ^{106}Ru , ^{137}Cs , $^{141-144}\text{Ce}$, $^{238, 239}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^7Be .

Показано, что наиболее значимыми из модифицирующих факторов являются: химическая форма, в виде которой радионуклид поступает в организм животных и человека, состояние здоровья (наличие патологических состояний: гипопункция щитовидной железы, диабет, заболевания печени, стресс и др.) и, главное, возраст на момент поступления радионуклида.

Предпринята попытка модификации отдаленных последствий, вызванных инкорпорацией радионуклидов, при помощи пищевых добавок в рационе, а также новых иммуномодуляторов (совидон, гриппол). Так, проведены исследования влияния эффективности провитамина А — бета-каротина — на развитие отдаленных последствий, вызванных инкорпорированными радионуклидами ^{131}I , ^{238}Pu , НТО. Выявлена одинаковая направленность эффектов, которые заключаются в следующем: удлиняется на несколько лет латентный период до момента появления опухоли у человека после воздействия радионуклида, снижается частота и скорость развития опухолей.

Интересные данные по профилактике отдаленных последствий получены с введением вакцины Гриппол. В эксперименте участвовало несколько лабораторий под руководством профессора А.А. Иванова. Показано, что вакцина может быть использована для

профилактики развития опухолей и позволяет повысить устойчивость организма к развитию опухолей. Получен патент на изобретение «Способ повышения противоопухолевой резистентности» (№ 2418599 от 20 мая 2011 г.).

В качестве пилотного проекта впервые в лаборатории были проведены эксперименты по изучению биокинетики наночастиц оксида цинка после перорального введения крысам (2010–2011 гг.). Работа выполнена совместно с лабораторией В.Ю. Соловьёва ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, НИИ питания РАМН, РНЦ «Курчатовский институт».

Учёные лаборатории участвовали в нескольких международных проектах и конференциях. Хороший резонанс получило сообщение о токсичности ^{238}Pu , сделанное на совещании по плутонию в Вашингтоне в 1996 г.

Престижными были исследования, проведенные в рамках проекта МНТЦ № 519 «Радионуклидное загрязнение окружающей среды и здоровье населения» (2001–2004 гг.). Завершением проекта явилась монография с этим же названием под редакцией И.Я. Василенко и Л.А. Булдакова, 2004 г.

Большой научный интерес представила экспериментальная работа, выполненная по линии МНТЦ за 2005–2006 гг. и 2008–2010 гг. по контракту с Институтом ядерной и радиационной безопасности (Париж, Франция) на свиньях (руководитель проекта А.Ю. Бушманов, менеджер В.Н. Яценко). Получены уникальные данные. На основе экспериментальных данных разработан способ измерения содержания инкорпорированных актиноидов у крупных лабораторных животных с использованием воксельного фантома животных и метода Монте–Карло и сделаны важные выводы о том, что при внутривенном введении изотонического раствора цитратов плутония и америция их распределение по органам и тканям свиньи и выведение их из организма соответствует расчётным данным, описываемых моделью, приведенной в Публикации 78 МКРЗ.

В плане развития проблемы защиты организма при инкорпорации радионуклидов в ближайшие и отдаленные периоды воздействия на организм животных и человека в настоящее время в лаборатории ведётся разработка темы, которая связана с возможностью использования неказуальной терапии с целью снижения эффекта поглощенной дозы за счёт улучшения показателей здоровья. При завершении темы предполагается экспериментально-теоретическое обоснование дозовой концепции неспецифической профилактики отдаленных последствий радиационных воздействий. Руководитель темы И.К. Беляев, в настоящее время заведующий лабораторией.

В качестве инициативной темы продолжают теоретические исследования по проблеме малых доз, определения понятия «малые дозы», порогового и беспорогового действия радиации. В последнее десяти-



Сотрудники лаборатории

тилетие изучение этой проблемы приобрело особую актуальность в связи с необходимостью уточнения существующих норм радиационной безопасности для населения и персонала.

Научные взгляды на проблему малых доз изложены в монографиях, в которых была предпринята попытка обобщить и проанализировать собственные и литературные экспериментальные и эпидемиологические данные. Это книги «Радиоактивное излучение и здоровье» Л.А. Булдакова и В.С. Калистратовой, 2003 г., «Радиационное воздействие на организм — положительные эффекты» этих же авторов, 2005 г.

В течение последних лет проводилась разработка научных проблем, связанных с обоснованием концепции порогового действия радиации. Первая попытка обобщения достижений в этом направлении проанализирована в книге В.С. Калистратовой, Л.А. Булдакова, П.Г. Нисимова «Проблемы порога при действии ионизирующего излучения на организм животных и человека» (2010 г.), а также в книге, написанной коллективом сотрудников лаборатории: В.С. Калистратовой, И.К. Беляевым, Е.С. Жоровой, П.Г. Нисимовым, И.М. Парфёновой, Г.С. Тищенко, М.М. Цапковым «Радиобиология инкорпорированных радионуклидов», 2012 г., которая стала итогом научных достижений за 50-летний период существования лаборатории. За это время вышло в свет 35 монографий, более 10 сборников работ. Подготовлено более 25 кандидатских и докторских диссертаций.

Подводя итоги, отметим, что опасность поступления радионуклидов в организм человека не может быть исключена полностью. Источником поступления радионуклидов в организм человека являются:

1. Аварии на реакторе с повреждением его активной зоны — ингаляционно-пероральное поступление в организм и на кожные покровы смеси осколков деления — аэрозолей (преимущественно изотопов йода), при одновременном β -, γ -облучении.

2. Длительный контакт профессионалов с радионуклидами, в том числе работы на предприятиях с открытыми радиоактивными источниками, подготовка препаратов для медицинских и исследовательских целей, транспортировка радионуклидных источников и демонтаж АЭС.

3. Ошибки в дозировке радионуклидов, использующихся для целей диагностики и терапии, особенно радиоизотопов йода, фосфора, золота, вводимых в организм различными путями.

4. Проживание больших групп населения на территориях, загрязненных плановыми или аварийными выбросами радионуклидов предприятиями ядерно-топливного цикла, на испытательных полигонах, использовании отходов урановых рудников и предприятий в качестве материалов для строительства или хозяйственных нужд; при размещении жилищ в зоне отвалов и выбросов таких предприятий.

Все это обуславливает вывод о необходимости дальнейшего изучения особенностей биологического действия инкорпорированных радионуклидов, в том числе имеющих большое практическое значение (уран, радий, плутоний, тритий). Остаётся актуальным изучение комбинированных форм воздействия радиоактивных веществ с факторами радиационной природы и сочетанных поражений, вызванных поступлением радиоактивных веществ и воздействием факторов нерадиационной природы. Особое внимание на данном этапе развития радиобиологической науки необходимо уделить проблеме малых доз, порога и горемезиса в исследованиях, связанных с изучением особенностей действия внутреннего облучения.

Основными задачами работ в области ускорения выведения радионуклидов являются, в первую очередь, поиск новых, более эффективных препаратов и разработка способов усиления декорпорирующих свойств уже известных и апробированных препаратов. Повышение эффективности средств декорпорации радионуклидов может быть достигнуто применением сочетаний различных препаратов и схем их введения, совместного применения препаратов различного механизма действия при комбинированном внешнем и внутреннем радиационном воздействии.

В настоящее время в лаборатории трудится 9 высококвалифицированных сотрудников (4 кандидата наук, 1 доктор наук). Это направление работ является одним из самых актуальных в настоящем и будущем, и мы не имеем права перед памятью учёных, которые совершили научный подвиг, считая это гражданским долгом, останавливаться на достигнутом.

*Федеральный медицинский биофизический центр
им. А.И. Бурназяна ФМБА России
Редакционная коллегия журнала «Медицинская
радиология и радиационная безопасность»*