

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

**МЕДИЦИНСКАЯ
РАДИОЛОГИЯ
И
РАДИАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

**MEDICAL RADIOLOGY
AND
RADIATION SAFETY**

Meditinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost

2016

Том 61

№ 1

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

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

Москва

Медицинская радиология и радиационная безопасность **Medical Radiology and Radiation Safety**

Научный журнал Scientific Journal

Издатель:

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

Главный редактор В.В. УЙБА

Заместитель главного редактора В.Б. Назаров

Заместитель главного редактора А.С. Самойлов (оперативное руководство)

Редакционная коллегия (по рубрикам журнала):

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

Радиационная безопасность: Р.М. Алексахин, С.С. Алексанин, М.И. Балонов, Л.А. Ильин, И.П. Коренков

Радиационная медицина: А.Ю. Бушманов, С.И. Иванов, Н.М. Оганесян, А.В. Рожко, Г.М. Румянцева

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: И.А. Гусев, С.М. Шинкарев

Зарубежные связи: В.Б. Назаров, 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

Сайт журнала: <http://www.medradiol.ru>

Подписано в печать 30.01.2016. Формат 60 × 88/8
Печать офсетная. 10,5 усл. печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
123098, Москва, ул. Живописная, 46

СОДЕРЖАНИЕ № 1 – 2016

КОЛОНКА РЕДАКТОРА	5	Нам – 60 лет <i>Л.А. Ильин</i>
	7	К 60-летию журнала «Медицинская радиология» (с 1993 г. «Медицинская радиология и радиационная безопасность»). Исторический очерк
РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ	11	Модель пострadiационной кинетики клеточных популяций при костномозговом синдроме <i>В.Ю. Соловьев, А.Е. Баранов</i>
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	17	Совершенствование радиационной защиты медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов <i>В.И. Рубцов, В.Н. Клочков, Н.А. Суровцев, А.Ю. Нефедов, Е.В. Клочкова, А.Б. Требухин, И.О. Чибиков</i>
	22	Формы техногенного урана в почвах берега озера Синара Каслинского района Челябинской области <i>А.Л. Полюдин</i>
РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА	29	Особенности социальной адаптации участников, пострадавших в результате аварии на атомных подводных лодках К-19 и К-27, по данным психофизиологического обследования <i>Н.А. Метляева, О.В. Щербатых</i>
	34	Оценка структурно-функциональных изменений сосудистой системы у лиц, подвергавшихся профессиональному облучению низкой интенсивности <i>Ю.В. Семенова, А.Б. Карпов, Р.М. Тахауов, Е.Г. Борисова, Д.Е. Максимов, А.Б. Тривоженко, Е.В. Ковальчук</i>
ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА	41	Возрастные ультразвуковые морфометрические стандарты паренхиматозных органов брюшной полости у детей, проживающих в районе размещения Курской АЭС <i>Н.С. Воротынцева, М.Ю. Зозуля</i>
ОБЗОР	47	Крупнофракционная дистанционная лучевая терапия рака предстательной железы <i>Г.Е. Ройтберг, С.В. Усичкин, А.В. Бойко</i>
ХРОНИКА	60	Итоги 62-й сессии Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН (Вена, 1–5 июня 2015 г.) <i>А.В. Аклев, Т.В. Азизова, Р.М. Алексахин, В.К. Иванов, А.Н. Котеров, А.И. Крышев, С.Г. Михеенко, А.В. Рачков, С.А. Романов, А.В. Сажин, А.С. Самойлов, С.М. Шинкарев</i>
В ПОМОЩЬ ПРАКТИЧЕСКОМУ ВРАЧУ	73	Поздние лучевые повреждения после повторного облучения в связи с рецидивом плоскоклеточного рака носоглотки <i>С.Б. Алиева, А.В. Назаренко, И.А. Задеренко, Л.И. Лебедева, Р.Р. Каледин, Е.Л. Дронова, И.А. Гладилина</i>
НОВЫЕ КНИГИ	78	Легеза В.И., Гребенюк А.Н., Бояринцев В.В. Комбинированные радиационные поражения и их компоненты. СПб.: ООО Издательство ФОЛИАНТ, 2015. 216 с.
БИБЛИОГРАФИЯ	79	Правила оформления статей для опубликования в журнале «Медицинская радиология и радиационная безопасность»

CONTENTS № 1 – 2016

EDITORIAL COLUMN	5	We are 60 years old <i>L.A. Ilin</i>
	7	On the 60th Anniversary of the Journal “Medical Radiology” (since 1993 “Medical Radiology and Radiation Safety”). Historical Review
RADIATION BIOLOGY	11	The Model Post-Radiation Kinetics of Cell Populations in Bone Marrow Syndrome <i>V.Yu. Soloviev, A.E. Baranov</i>
RADIATION SAFETY	17	Improving Radiation Safety of Medical Staff during Diagnostic and Treatment Procedures with the Application of Radionuclides <i>V.I. Rubtsov, V.N. Klochkov, N.A. Surovtsev, A.Yu. Nefedov, E.V. Klochkova, A.B. Trebukhin, I.O. Chibakov</i>
	22	Forms of Technogenic Uranium in the Soil of the Shore of the Lake Cinara, Kaslinsky District, Chelyabinsk Region <i>A.L. Polyudin</i>
RADIATION MEDICINE	29	Features of Social Adaptation of Participants of the Accident on the Nuclear Submarines K-19 and K-27 According to Psychophysiological Inspection <i>N.A. Metlyaeva, O.V. Scherbatich</i>
	34	Structural and Functional Changes of Vascular System in Individuals Exposed to Occupational Irradiation of Low Intensity <i>Yu.V. Semenova, A.B. Karpov, R.M. Takhaouov, E.G. Borisova, D.E. Maximov, A.B. Trivozhenko, E.V. Kovalchuk</i>
DIAGNOSTIC RADIOLOGY	41	Ultrasonic Morphometric Age Standards of Abdominal Parenchymatous Organs of the Children Living in the Area of Kursk NPP <i>N.S. Vorotyntseva, M.Yu. Zozulya</i>
REVIEW	47	Extreme Hypofractionated External-Beam Radiotherapy for Prostate Cancer <i>G.E. Roytberg, S.V. Usyckin, A.V. Boiko</i>
CHRONICLE	60	The Results of the 62nd Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 1–5 June, 2015) <i>A.V. Akleyev, T.V. Azizova, R.M. Aleksakhin, V.K. Ivanov, A.N. Koterov, A.I. Kryshev, S.G. Mikheyenko, A.V. Rachkov, S.A. Romanov, A.V. Sazhin, A.S. Samoylov, S.M. Shinkarev</i>
MEDICAL PRACTICE ISSUE	73	Late Radiation Damage after Reirradiation for Recurrent Nasopharyngeal Carcinoma <i>S.B. Alieva, A.V. Nazarenko, I.A. Zaderenko, L.I. Lebedeva, R.R. Kaledin, E.L. Dronova, I.A. Gladilina</i>
NEW BOOKS	78	Legeza V.I., Grebenyuk A.N., Boyarintsev V.V. Combined Radiation Injuries and their Components. SPb.: LTD Publishing Company Foliant. 2015. 216 pp.
BIBLIOGRAPHY	79	Formatting Rules for Articles for Publication in the Journal «Medical Radiology and Radiation Safety»

Л.А. Ильин
НАМ – 60 ЛЕТ

L.A. Ilin
We are 60 years old

Среди новаций XX в. атомная наука и техника заняли особое место. Открытие ядерной энергии и ее практическое освоение в феноменально короткие сроки явили собой уникальный исторический прецедент.

Особый феномен биологических свойств ионизирующих излучений привлек повсеместное внимание и научно-практический интерес ученых-медиков и биологов. История и уникальные достижения в области использования и применения ионизирующих излучений в медицине хорошо известны.

Уместно напомнить, что в 20-е гг. XX столетия в период интенсивных экспериментально-теоретических работ в области ядерной физики, даже один из ее основоположников, знаменитый Э. Резерфорд открыто выражал свои сомнения в возможности в будущем практического использования научных результатов этой науки. В то же время великий русский ученый провидец В.И. Вернадский предупреждал: «Мы подходим к великому перевороту в жизни человечества, с которым не сможет сравниться все им раньше пережитое. Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию — такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь как он захочет... Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие, но ясно, что это должно быть. Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение?»

Прошло всего два десятилетия после гениального предвидения В.И. Вернадского, и уже в июле 1945 г. в пустыне Аламагордо Соединенные Штаты Америки осуществили испытание первой атомной бомбы.

Создание ядерного оружия, а именно эта задача, к сожалению, стала целью прагматической реализации научных достижений в области ядерной физики, было немыслимо без формирования принципиально новой отрасли науки и техники — радиационно опасной атомной индустрии, конечным технологическим продуктом которой для изготовления атомной бомбы является обогащенный уран и плутоний.

Во то же время опыт военного аспекта проблемы заочномерно породил очевидную целесообразность использования атомной энергии в мирных целях: прежде всего, в медицине, науке и технике, в сельском хозяйстве и, наконец, для производства электрической энергии и тепла. Эти задачи были принципиально решены во второй половине XX в.

Таким образом, атомная энергия оказалась в роли двуликого Януса современности: с одной стороны, в качестве беспрецедентного оружия массового поражения людей и биосферы, в корне изменившего геополитическую обстановку в мире и психологию человечества, а с

другой — мирной стороны, в виде источника энергообеспечения, как символа научно-технического прогресса и гаранта социально-экономического процветания общества — фактора, радикально повысившего возможности медицины в области диагностики и лечения многих заболеваний человека.

Название нашего журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность», равно как и суть его публикаций, в определенной мере отражает эти две ипостаси — с одной стороны, речь идет о научных публикациях и обзорах, посвященных использованию и применению в медицине ионизирующих излучений для целей диагностики и лечения различных видов патологий человека, и, с другой — это статьи и дискуссионные публикации, отражающие вопросы диагностики и лечения лучевой патологии, регламентации радиационных воздействий, проблемы радиационной защиты профессионалов и населения, а также изучения медико-биологических последствий радиационных аварий или инцидентов.

Все эти материалы традиционно распределены в журнале по отдельным рубрикам: радиационная биология, радиационная безопасность, радиационная медицина, лучевая диагностика, лучевая терапия, медицинская физика и др.

С удовлетворением необходимо подчеркнуть, что наш журнал на протяжении своей шестидесятилетней истории всегда занимал активную позицию в освещении наиболее актуальных философских и концептуальных вопросов современной радиобиологии и радиационной медицины, принципиально важных в практическом отношении проблем регламентации ионизирующих излучений, методологии прогностических оценок стохастических последствий облучения людей и др.

Приведем один из примеров. Известно, что на протяжении более сорока лет продолжаются дискуссии о пороговости действия ионизирующих излучений на биологические объекты. Казалось бы, этот спор имеет сугубо теоретический характер. Однако на самом деле последствия практической реализации того или иного подхода имеют исключительную значимость как в рамках развития атомных технологий, так и для объективного понимания последствий облучения человека в так называемых малых дозах. Именно это обстоятельство вывело радиобиологию за рамки сугубо научной экспериментально-теоретической дисциплины (особенно после Чернобыльской катастрофы) в сферу сложнейших социально-экономических, нравственно-этических и политических коллизий, поскольку базовая гипотеза, используемая для количественной оценки радиационной

опасности, предопределила применение социально ориентированного понятия «приемлемый риск».

Наш журнал всегда предоставлял свою трибуну для публикации дискуссионных работ отечественным специалистам, занимающим контрастные позиции по обсуждаемой проблеме, а также крупнейшим зарубежным авторитетам в этой области — П. Пелерену, А. Келлереру, М. Тюбиане, З. Яворовскому, Ж.К. Нено и др.

Журнал стремится занимать объективную и беспристрастную позицию в этой сложнейшей проблеме, активно привлекая фундаментальные материалы и выводы публикаций Международной комиссии по радиологической защите и, особенно, НКДАР ООН. Здесь уместно напомнить, что один из отчетов НКДАР ООН, посвященный медицинским аспектам аварии в Чернобыле, был полностью опубликован на страницах журнала, а труды НКДАР 2000 г. в виде четырехтомного издания по инициативе и под редакцией членов редколлегии журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность» Л.А. Ильина и С.П. Ярмоненко были переведены на русский язык и изданы полностью в 2003 г.

Анализируя итоги 60-летней деятельности журнала, следует обратить внимание на его образовательную и просветительскую роль и занимаемую им гражданскую позицию по актуальным общественно значимым вопросам, в той или иной степени связанным с биологическим действием ионизирующего излучения. Речь идет, прежде всего, о необходимости формирования у читателей объективных, основанных на научных данных и опыте радиационной медицины, представлениях о реальных последствиях низких уровней облучения человека, соизмеримых с естественным природным фоном ионизирующей радиации. Как уже подчеркивалось, это ключевая проблема, которая, при прочих равных условиях, определяет отношение различных групп населения, всевозможных общественных организаций, политиков и законодателей к атомной энергетике, понимание значимости ионизирующей радиации в сравнении с другими вредными антропогенными факторами химической, физической (неионизирующие излучения) и биологической природы, являющимися неизбежными спутниками научно-технического прогресса.

Весьма ценным начинанием в области просвещения явилась организация библиотеки журнала. В этой серии было выпущено восемь книг по актуальным вопросам радиобиологии и радиационной безопасности.

Некомпетентность в обсуждаемой области, порожденная отсутствием своевременной информации, слабой подготовкой студентов-медиков и врачей, а также игнорирование мнения профессионалов со стороны властных структур, порой в угоду политической конъюнктуре, создавали в ряде случаев кризисные ситуации.

Наглядный тому пример — трагические события в постчернобыльский период, когда в стране принимались не обоснованные научно решения о необходимости массовых переселений многих сотен тысяч людей из районов радиоактивного загрязнения. В этой действительно трагической ситуации около 100 ученых и специалистов 14 сентября 1989 г. обратились к М.С. Горбачеву и в Верховный Совет СССР с письмом в виде «Заявления группы ученых, работающих в области радиационной безопасности и радиационной медицины, в связи с ситуа-

цией, обусловленной аварией на Чернобыльской атомной станции». Документ был подписан 92 ведущими учеными и специалистами из 17 научно-исследовательских институтов медико-биологического профиля бывшего СССР, включая пострадавшие республики. В этом Заявлении ученые, в частности, предупреждали о недопустимости широкомасштабных акций с отселением порядка миллиона людей из 1500 населенных пунктов, районных центров и некоторых городов, обосновывая свои требования, подтверждая их международными рекомендациями в области противорадиационной защиты. Особое внимание в этом документе придавалось необходимости эффективного ресурсного и кадрового обеспечения местного здравоохранения. Заявление это обоими адресатами было проигнорировано и оставлено без ответа.

Умолчали об этом важнейшем документе и средства массовой информации. И только один журнал взял на себя ответственность (на фоне истерии вокруг Чернобыля) полностью опубликовать текст этого Обращения. Это был наш журнал, выходявший в те годы под названием «Медицинская радиология» (1990, т. 35, № 1).

К сожалению, учитывая весьма скромный тираж журнала (к тому же, узкоспециального) необходимого общественного резонанса эта публикация вызвать не могла. И, тем не менее, напоминание о факте обращения отечественных ученых к органам власти имеет важное и принципиальное значение.

Действительно, в течение последующих 15 лет были осуществлены крупнейшие международные проекты и обобщения, касающиеся медико-биологических, психосоциальных и социально-экономических последствий Чернобыльской катастрофы. Речь идет о первом международном Чернобыльском проекте с участием 200 ученых из 22 стран, работавших в радиоактивно загрязненных районах трех республик бывшего СССР в начале 1990-х гг. прошлого столетия; о трех официальных докладах НКДАР ООН Генеральной Ассамблее ООН, основанных на тщательном анализе научных материалов по Чернобылю, наконец, о выводах и рекомендациях правительств Белоруссии, России и Украины, подготовленных большой группой ученых, работавших в рамках созданного ООН и рядом международных организаций так называемого Чернобыльского форума, конференция которого прошла в 2005 г.

Все эти международные аналитические оценки и выводы, в сущности, полностью подтвердили основные предложения и рекомендации, изложенные в заявлении отечественных ученых и специалистов в конце 1980-х гг. и не принятые властными структурами бывшего СССР. Комментарии в данном случае излишни.

Говоря о перспективах журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность», можно подчеркнуть, что тематика этого издания будет объективно отражать дальнейшие достижения в области радиобиологии, медицинской радиологии, радиационной медицины и радиационной безопасности, тем самым обеспечивая современной научной информацией широкий круг специалистов, работающих в этих областях.

Поступила: 01.12.2015

Принята к публикации: 21.12.2015

**К 60-ЛЕТИЮ ЖУРНАЛА «МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ»
(с 1993 г. «Медицинская радиология и радиационная безопасность»).**
Исторический очерк

**On the 60th Anniversary of the Journal “Medical Radiology”
(since 1993 “Medical Radiology and Radiation Safety”).**
Historical Review

Как показывает история решения любой серьезной проблемы, если его инициаторы учитывают перспективу развития, то поставленные вопросы неизменно должны быть глобальными и связаны с задачами, которые стоят перед государством. В Директивах шестого пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР значительное внимание уделялось вопросам расширения применения атомной энергии в мирных целях. В течение 1950–1960 гг. было намечено построить атомные электростанции общей мощностью не менее 2–2,5 млн кВт. Было также намечено всемерно развивать работы по дальнейшему использованию ионизирующих излучений в промышленности, сельском хозяйстве, а также в медицине для диагностики и лечения различных заболеваний. Как следствие этого, предполагалось расширить работы по изучению биологического действия ионизирующей радиации.

Открытие нового источника энергии поставило перед медиками и учеными новые большие задачи: «во-первых, максимально и наилучшим образом использовать атомную энергию для предупреждения, диагностики и лечения болезней, а также для научных исследований во всех областях медицины, во-вторых, тщательно изучить вредное действие ионизирующих излучений и разработать меры защиты от них, а также разработать эффективные методы предупреждения лучевой болезни и лечения ее» (журнал «Медицинская радиология», 1, № 1, С. 5–6).

С целью широкого освещения и обсуждения на страницах специализированного издания накапливающихся данных по биологическому действию ионизирующих излучений был зарегистрирован научный журнал «Медицинская радиология», первый номер которого был сдан в набор 26.01.1956 г. и подписан к печати 19.03.1956 г. тиражом 2720 экземпляров.

Издание этого журнала, целью которого было на первом этапе накопление знаний о биологических и физических основах действия ионизирующих излучений на организм человека, разработка техники и методов использования этих излучений, а также использование радиоактивных изотопов в терапии и диагностике, позволило широко освещать и обсуждать все эти проблемы на страницах нового журнала.

Вместе с тем журнал должен был выполнять очень важную воспитательную роль, способствуя формированию для страны специалистов разного профиля.

С 1956 г., т.е. с момента образования, до 1960 г. тематику журнала определяли запросы радиобиологии и радиационной гигиены. На тот период времени главным редактором был видный гигиенист академик Ф.Г. Кротков, и в основном более двух третей составляли статьи, посвященные проблемам радиобиологии и экспериментальной лучевой болезни.

К 1961 г. в связи с развитием отечественной медицинской радиологии корректируется профиль журнала — ему придается клиническая направленность.

Главным редактором журнала «Медицинская радиология» с августа 1958 по октябрь 1989 г. был академик АМН СССР, профессор Георгий Артемьевич Зедгенидзе, советский рентгенолог и радиолог, автор более 400 научных трудов, в том числе 25 руководств и монографий, который в далекие пятидесятые годы был организатором трех направлений деятельности: строительство Медицинского радиологического научного центра в Обнинске, работы медиков и ученых и освещение в печати научных достижений (рис. 1). Стремление Г.А. Зедгенидзе к поиску и воспитанию высококвалифицированных кадров способствовало выполнению научными коллективами серьезных ис-



Рис. 1. Г.А. Зедгенидзе

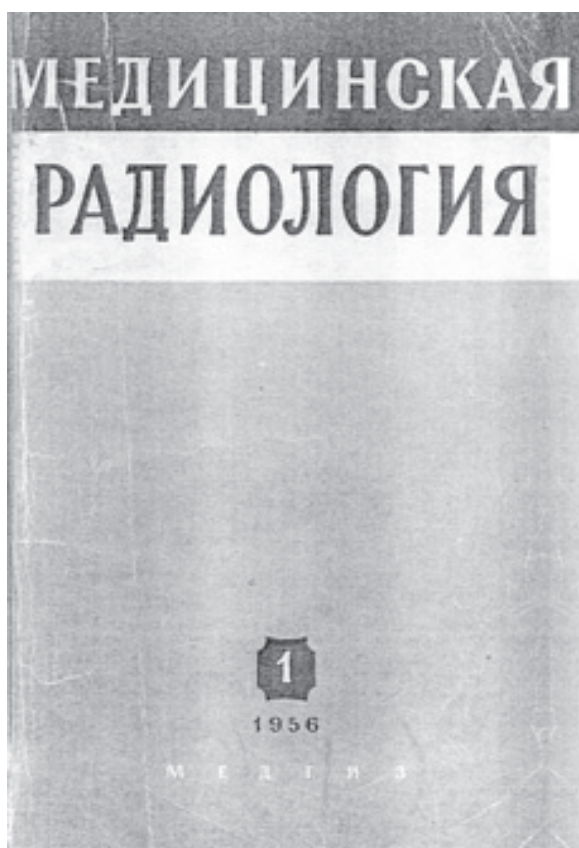


Рис. 2. Первый выпуск журнал «Медицинская радиология» (Том 1, № 1, январь-февраль 1956)



Рис. 3. Содержание первого выпуск журнала «Медицинская радиология» (Том 1, № 1, январь-февраль 1956)

следований, посвященных молекулярным и клеточно-биологическим основам воздействия на организм ионизирующего излучения, изучению важнейших звеньев патогенеза лучевой болезни, разработке новых радиационных методов профилактики, диагностики и лечения злокачественных новообразований.

На страницах журнала освещались основные вопросы медицинской радиологии: биологическое действие проникающих излучений, лучевые поражения в эксперименте и клинике, экспериментальная терапия и профилактика лучевых поражений, применение радиоактивных изотопов и ионизирующих излучений для научных исследований в медицине, диагностическое и терапевтическое применение радиоактивных изотопов и других источников ионизирующей радиации, защита от воздействия ионизирующих излучений и гигиена труда, физические основы медицинской радиологии и дозиметрии, медицинская радиологическая техника.

На страницах журнала «Медицинская радиология» в далекие 1950–70 гг. печатались статьи та-

ких известных ученых, основоположников советской медицинской и биологической науки, как: М.Н. Побединский, П.Д. Горизонтов, М.Н. Ливанов, Г.С. Стрелин, А.В. Лебединский, Л.А. Зильбер, М.П. Домшлак и др., и оригинальные статьи молодых ученых (рис. 2, 3).

Г.А. Зедгенидзе возглавлял журнал около 30 лет до октября 1990 г. и, будучи директором Института медицинской радиологии, воспитал плеяду высококвалифицированных специалистов медиков, биологов, физиков, инженеров, способных решать сложнейшие вопросы: патогенеза лучевой болезни, молекулярные и клеточно-биологические основы воздействия на организм ионизирующего излучения, разработки новых методов профилактики, диагностики и лечения злокачественных новообразований. Во многом воспитанию научных кадров ему помогал журнал «Медицинская радиология», на страницах которого были представлены последние научные достижения. Широкое их освещение на страницах журнала спо-



Рис. 4. Л.Д. Линденбратен

собствовало скорейшему внедрению последних научных достижений непосредственно в клинику.

Наличие в журнале раздела «Хроника» позволило ученым быть в курсе последних достижений иностранных ученых и обеспечивало обмен опытом.

Начиная с 1960-х гг. д.м.н., профессор Л.Д. Линденбратен был членом редколлегии, а с 1990 г. до первой половины 2000 г. — главным редактором журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность». В этом журнале были опубликованы 10 его передовых статей и свыше 40 статей по проблемам радиоизотопной диагностики, маммологии, подготовки кадров, истории отечественной рентгенорадиологии, его рецензии на новые книги и учебники (рис. 4). В разные годы он был членом президиума Всесоюзного и Всероссийского научных обществ рентгенологов и радиологов и членом Всесоюзного общества гастроэнтерологов. С 1996 по 2004 гг. Л.Д. Линденбратен был президентом Московского общества рентгенологов и радиологов, в составе которого им были созданы секции лучевой терапии и маммологии. Под его руководством были защищены 20 докторских и 80 кандидатских диссертаций. Он является автором 40 монографий, руководств и учебников.

Трагические события Чернобыля серьезно повлияли на тематику журнала, редакционная коллегия приняла решение об опубликовании всей доступной информации. Значительную роль в объективном освещении сыграла большая группа ученых, прежде всего А.К. Гуськова, Л.А. Ильин А.Ф. Цыб, С.П. Ярмоненко. В этот период издания журнала



Рис. 5. Л.А. Ильин

(1993—1994) редакционной коллегией было принято решение изменить название журнала, и с 1993 г. журнал стал называться «Медицинская радиология и радиационная безопасность».

Со второй половины 2000 г. главный редактор журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность» — академик РАН Л.А. Ильин (рис. 5). Будучи главным редактором, Л.А. Ильин уделял большое внимание публикациям в журнале. Была напечатана большая серия статей по созданию новых препаратов и средств защиты от воздействия гамма-нейтронного излучения, инкорпорации радионуклидов в организме и контактного радиоактивного загрязнения кожных покровов, ран и ожогов, разработке медико-гигиенических проблем защиты профессионалов и населения при создании и освоении новых атомных технологий в случае радиационных аварий; регламентации допустимых уровней облучения человека; радиобиологии низкоинтенсивного излучения и прогнозирования стохастических последствий радиоактивного облучения людей.

Л.А. Ильин — автор и соавтор 20 монографий, учебников и руководств и автор более 400 научных публикаций. С 2008 г. и по настоящее время Л.А. Ильин является Почетным президентом ФГБУ «ГНЦ РФ ФМБЦ им А.И. Бурназяна» ФМБА России.

С 2008 г. главный редактор журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность» — д.м.н., профессор В.В. Уйба, руководитель ФМБА России (рис. 6).



Рис. 6. В.В. Уйба

Заслуженный врач Российской Федерации. Награжден орденом Александра Невского, орденами «За заслуги перед Отечеством» III и IV степеней, двумя орденами Мужества, орденом Дружбы Республики Южная Осетия, благодарностями и почетной грамотой Президента Российской Федерации, рядом медалей. Лауреат премий Правительства Российской Федерации в области образования и в области науки и техники. В.В. Уйба — ректор Института последипломного профессионального образования ФМБА России, заведующий кафедрой общественного здоровья и здравоохранения. Им разработаны методические подходы и реализованы практические мероприятия для специализированной системы здравоохранения, обеспечивающей в течение 68 лет сохранение здоровья и профессиональной работоспособности работников предприятий оборонных отраслей промышленности. Профессор Уйба — автор и соавтор около 250 научных работ и публикаций, автор ряда монографий и научных трудов по проблемам общественного здоровья, которые способствуют дальнейшему развитию системы здравоохранения.

С января 1956 г. по настоящее время неизменным учредителем журнала было Министерство здравоохранения СССР, а с 1990-х гг. Министерство здравоохранения Российской Федерации. На отдельных этапах выпуска журнала вместе с Министерством здравоохранения учредителями журнала были Российская национальная комиссия по радиацион-

ной защите, Медицинский радиологический научный центр РАМН, Научно-производственная фирма «Радиация, экология, онкология» (РАДЭКОН), Московское объединение медицинских радиологов; с середины 2008 г. по настоящее время — Федеральное медико-биологическое агентство РФ.

С 01.07.2008 г. по настоящее время издателем журнала является ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медико-биофизический центр им. А.М. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России. За период с 1956 г. по настоящее время издано более 360 выпусков, журнал имеет более 36 рубрик и теперь выходит раз в два месяца.

Электронный адрес журнала: medradiol@fromru.com, сайт журнала: <http://www.medradiol.ru>.

При проведенной в 2015 г. Минобрнауки преаттестации рецензируемых изданий журнал «Медицинская радиология и радиационная безопасность» подтвердил статус журнала ВАКа и вошел в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований, а также в число 10 ведущих журналов отрасли. В 2013 г. журнал заключил договор с ООО «Научная Электронная Библиотека», которая не только анализирует публикационную активность журнала, но и способствует распространению электронных версий журнала. Лицензионный договор журнала с НЭБ позволил представить читателям полные тексты статей с 2008 по 2013 гг. в открытом доступе. По решению редакционной коллегии журнала не менее 2–3 статей каждого выпуска журнал помещает в открытый доступ и периодически на сайте дает информацию о статьях в ближайших выпусках, что привело к увеличению посещаемости сайта до 200–250 просмотров в день.

На современном этапе журнал продолжает широко освещать вопросы радиационной безопасности в регионах, расположенных вблизи предприятий и организаций атомной промышленности, состояния здоровья персонала предприятий и организаций Росатома, населения, проживающего на территориях, как прилегающих к этим объектам, так и на радиоактивно загрязненных территориях, а также продолжает публикации по традиционной тематике в области медицинской радиологии.

Редакционная коллегия журнала

«Медицинская радиология и радиационная безопасность»

Поступила: 01.12.2015

Принята к публикации: 15.12.2015

В.Ю. Соловьев, А.Е. Баранов**МОДЕЛЬ ПОСТРАДИАЦИОННОЙ КИНЕТИКИ КЛЕТОЧНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ПРИ КОСТНОМЗГОВОМ СИНДРОМЕ****V.Yu. Soloviev, A.E. Baranov****The Model Post-Radiation Kinetics of Cell Populations in Bone Marrow Syndrome**

РЕФЕРАТ

Цель: Разработка математической модели пострадиационного восстановления численности пула стволовых кроветворных клеток после острого тотального облучения.

Материал и методы: Объектом исследования являются данные по пострадиационной динамике концентрации нейтрофилов в периферической крови пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г. из базы данных по острым лучевым поражениям человека ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Результаты: Предложена модель и ее математическое описание для оценки динамических характеристик пострадиационной динамики пула стволовых кроветворных клеток и форменных элементов (нейтрофилов) периферической крови человека. Показано, что гипотетическое представление о триггерном механизме включения нескольких различных режимов пострадиационного восстановления пула стволовых клеток и существовании т.н. критического уровня запрета на дифференцировку не противоречит наблюдаемой картине пострадиационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови человека. На основании модельных представлений высказана гипотеза о возможности внешнего вмешательства в программу естественного переключения режимов восстановления, что может привести к менее выраженному течению острого периода костномозгового синдрома, и при определенных уровнях радиационного поражения в диапазоне доз 3–5 Гр — к некоторому сокращению длительности периода агранулоцитоза, ориентировочно на 2–4 сут.

Заключение: Если принципиальные теоретические построения верны, можно надеяться на поиск таргетных препаратов, способных в той или иной степени блокировать выход в дифференцировку стволовых кроветворных клеток, определенным образом изменять клиническую картину течения костномозгового синдрома и, соответственно, несколько снижать риск смерти при тяжелых и крайне тяжелых формах костномозгового синдрома.

Ключевые слова: костномозговой синдром, клеточные популяции, нейтрофилы, модель, доза гамма-излучения

ABSTRACT

Purpose: Development of a mathematical model of recovery number of stem cell after acute total body irradiation.

Material and methods: The object of study is the data from a database of human acute radiation syndrome of A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA on the post-radiation dynamics of the concentration of granulocytes in the peripheral blood of the victims of the Chernobyl accident in 1986.

Results: A model with mathematical description for the evaluation of post-radiation dynamics of stem cell pool and formed elements (granulocytes) in human peripheral blood is proposed. It is shown that the hypothetical idea of the trigger mechanism of the inclusion of several different modes of post-radiation recovery of stem cells pool and the existence of so-called critical level of the prohibition on differentiation does not contradict to the observed pattern of clinical data. A hypothesis is proposed about the possibility of external interference in the biological program of natural post-radiation recovery. It can lead to a less pronounced acute period of bone marrow syndrome in a dose range of 3–5 Gy. It may cause some reduction in agranulocytosis duration (at 2–4 days).

Conclusion: If the fundamental theoretical constructions are correct, we hope to find out some targeted therapies that can to some extent block the access to the differentiation of hematopoietic stem cells in a certain way and change the course of the clinical picture of bone marrow syndrome and, consequently, reduce some risk of death with severe and extremely severe bone marrow syndrome.

Key words: bone marrow syndrome, cell populations, granulocytes, model, gamma irradiation, dose

Введение

Анализ закономерностей пострадиационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови человека при остром тотальном облучении позволяет сконструировать некоторые модельные представления, связанные с пострадиационной кинетикой клеточных популяций. Такая попытка на эмпирическом уровне была выполнена нами в работе [1]. Перед формулировкой постулатов модели требуется рассмотреть возможные механизмы кинетики популяций клеток

стволового пула после гибели значительной их части в результате радиационного воздействия.

Анализ механизмов регуляции пула стволовых кроветворных клеток

В работе [2] рассмотрены ведущие, по мнению авторов, механизмы регуляции пула стволовых кроветворных клеток (СКК). Так, с первым механизмом регуляции связаны резервные способности пула СКК в состоянии покоя (фаза G_0 клеточного цикла). Модель

предусматривает очень простую регуляцию, реализуемую в режиме обратной связи: в случае, если уровень СКК становится ниже требуемого, происходит увеличение доли СКК, вступающих в цикл из G_0 -фазы (a_s). Истощение всех возможностей резервного пула очевидно соответствует $a_s = 1$. Второй механизм регуляции — изменение доли клеток q , остающихся в цикле, соответственно « $1 - q$ » — доля клеток, уходящих в дифференцировку. Этот механизм характеризуется небольшим полем варибельности $q = 0,4-0,6$ (в норме $q = 0,5$). Третий механизм, рассмотренный в работе [2], относится к изменению доли клеток, дифференцирующихся в направлении различных ростков.

На основополагающий характер первого механизма регуляции, впервые предложенного L.G. Lajtha в работе [3] и последующих публикациях [4–6], указывает и множество других работ, в частности, [7–9]. Так, Г.П. Груздевым [9] при исследовании дозовой зависимости выживаемости клеток костного мозга мышей было обнаружено, что данную зависимость можно аппроксимировать двумя экспонентами, что явно указывало на наличие по крайней мере двух клеточных фракций, существенно различившихся по радиочувствительности. В дальнейшем В.Л. Гозенбуком с соавт. [10,11] этот вопрос был развит путем анализа данных экспериментов на собаках с последующей экстраполяцией на человека. Позднее эти фракции были условно отождествлены с покоящимися и пролиферирующим пулами. На значительную долю СКК в состоянии покоя указывается и в работе [2]. Различие в радиорезистентности покоящейся и пролиферирующей фракции можно объяснить и на основе теории мишеней. Так, во-первых, известно, что, в состоянии покоя ядро клетки занимает минимальный объем, который увеличивается в размерах при включении в клеточный цикл. Во-вторых, в состоянии покоя клетка имеет значительно больший временной резерв для репарации повреждений.

На втором механизме с большой долей остающихся в цикле клеток следует остановиться особо. Как было отмечено выше, в рамках второго механизма регуляции доля клеток, остающихся в цикле, находится в пределах $0,4-0,6$. Можно предположить, что при значимом уменьшении числа клеток в стволовом пуле из возникающего недостатка дифференцированных клеток, угрожающего жизни, происходит переключение режима регуляции, который соответствует нижнему отмеченному пределу (в доле $q = 0,4$). При этом воспроизводится меньше клеток, чем уходит в дифференцировку и тем самым происходит истощение стволового пула. Вполне очевидно, что такой процесс может привести к полному истощению ресурсов и в определенный момент происходит обратное переключение в режим преимущественно наработки стволового пула.

Впервые этот механизм был экспериментально обнаружен в работе [12] и дополнительно исследован в более поздних публикациях [13, 14]. Экспериментальное подтверждение существования у животных режима с

$q > 0,95$ получено также в работе [2]. Его назначение заключается в самосохранении стволового пула путем включения всех резервных возможностей после значительного опустошения. При начальном опустошении пула КОЕ-С ниже критического уровня (для грызунов — около 10 % от нормы) пролиферация направлена только на восстановление численности собственного пула. Лишь при восстановлении первоначального уровня часть популяции СКК начинает переходить в коммитированный компартмент. Подобный режим назван авторами [12] запретом на дифференцировку. В работе [15] было высказано предположение о существовании подобного режима и у человека. С целью поиска доказательств данной гипотезы было проведено исследование на когорте пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г., первые результаты которого опубликованы в работе [1].

Формулировка модели

В формирование модели положены описанные выше механизмы регуляции численности стволового пула. Наиболее важный постулат, который лежит в основе предлагаемой модели, связан с тем, что режимы функционирования механизма регуляции доли клеток, остающихся в цикле, переключаются в динамике в зависимости от их текущего уровня, а не только после первичного опустошения при радиационном воздействии. Отметим также, как уже неоднократно обсуждалось в ряде работ [16–18], при околелетальных дозах реализуется, в основном, т.н. короткоранговый механизм восстановления кроветворения, основанный на мозаичной структуре строения костного мозга. При этом реализация процесса восстановления клеточности стволового пула происходит независимо в каждом участке (сайте) костномозгового кроветворения.

Рассмотрим кинетическое уравнение функционирования клеточной популяции стволового пула в рассматриваемом сайте. Пусть в норме число клеток стволового пула в сайте N_0 . После радиационного воздействия в дозе D и гибели части клеток в ближайшее время после облучения остается $N(D)$ выживших клеток, способных к самопроизводству и последующей дифференцировке с образованием зрелых форменных элементов крови. В рамках теории мишеней их количество удовлетворительно описывается экспоненциальной функцией «с плечом» [8].

Рассматривая отдельный участок (сайт) костномозгового кроветворения при дозах выше критической точки «плеча» и переходя к безразмерным координатам $x(D) = N(D)/N_0$, зависимость доли выживших клеток x_0 от дозы D описывается функцией:

$$x_0(D) = \exp(-D/D_0), \quad (1)$$

где D — поглощенная доза гамма-излучения в рассматриваемом участке; D_0 — параметр, Гр (по оценкам [8], $1 < D_0 < 2$ Гр).

В рамках рассмотрения второго механизма регуляции численности стволового пула функция $q(x)$ пред-

ставляет собой дискретные значения уровня регуляции доли клеток, остающихся в цикле, в первом приближении зависящие от их текущего уровня x . Учитывая сказанное выше, функция $q(x)$ может быть определена следующим образом:

$$\begin{aligned} q_0 &> 0,5, x > x_1, \\ q(x) &= q_1 < 0,5, x_2 < x \leq x_1 \\ q_2 &> 0,95, -x \leq x_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где x_1 — доля остающихся в цикле клеток, являющаяся границей для переключения в режим повышенного уровня уходящих в дифференцировку клеток $(1 - q_1) > 0,5$ (или $q_1 < 0,5$); x_2 — доля остающихся в цикле клеток, соответствующая уровню, при котором включается режим запрета на дифференцировку, $q_2 > 0,95$ (в пределе $q_2 = 1$).

В первом режиме численность стволового пула восстанавливается за счет первого механизма $q_0 > 0,5$ (в соответствии с моделью [2], вероятно, q_0 близким к 0,6) и каких-либо переключений не требуется (см. выше).

При включении второго режима при доле остающихся в цикле клеток в пределах $x_2 \leq x < x_1$ процесс их повышенного перехода в дифференцировку $(1 - q_1) > 0,5$ приводит к определенному истощению стволового пула до уровня x_2 , после чего включается режим запрета на дифференцировку q_2 . Если доля сохранившегося пула СКК меньше критического уровня $x_0 \leq x_2$, режим запрета на дифференцировку q_2 включается сразу.

В работе [19] выживаемость мезенхимальных стволовых клеток в зависимости от дозы определяется как:

$$\lambda\gamma(\xi) = -0,234 \Delta - 0,41, \quad (3)$$

откуда следует оценка параметров $D_0 = 1,89$ Гр и $x_0 = 0,389$ для $D > D_0$.

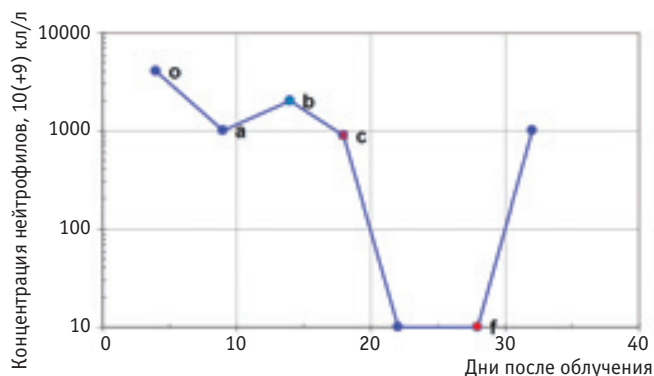


Рис. 1. Пострадиационная динамика концентрации нейтрофилов в периферической крови человека (схематичное представление характеристическими точками согласно А.Е. Баранову) [21,1]: о — начало фазы первого опустошения; а — минимум фазы первого опустошения; b — максимум фазы abortивного подъема; с — начало фазы второго опустошения; f — окончание фазы второго опустошения ($< 0,01 \times 10^9$ кл/л); h — начало фазы восстановления

Изложенные выше теоретические представления проверены на конкретных данных по пострадиационной динамике концентрации нейтрофилов периферической крови из базы данных по острым лучевым поражениям человека ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Для этого был использован метод, описанный в работе [1]. В соответствии со схематической кривой изменения концентрации нейтрофилов в периферической крови С.А. Килмена [20] и принятыми А.Е. Барановым в работе [21] обозначениями было проведено выделение характеристических точек на динамических кривых концентрации нейтрофилов в периферической крови (рис. 1). Процедура выделения характеристических точек была проведена без предварительного сглаживания [22], в отличие от метода, описанного в работе [21]. Для каждой такой точки фиксировались ее координаты «время—концентрация нейтрофилов» (t, N). Затем производилось сглаживание и аппроксимация линейной или экспоненциальной функцией от дозы.

Из данной схематичной динамической кривой концентрации нейтрофилов в периферической крови для целей настоящего исследования нас интересуют временные координаты, в первую очередь, двух характеристических точек: «с» и «h», которым можно приписать некоторые фундаментальные свойства. Так, на динамической кривой наблюдается начало резкого спада концентрации в точке «с» и, наоборот, ее резкий подъем в точке «h», связанный с восстановлением кроветворения. Оценка постоянной времени спада — менее суток, что близко к тому, что нейтрофилы в периферической крови функционируют практически в свободном режиме, т.е. без подпитки со стороны своих предшественников.

Анализ дозовой зависимости временной координаты характеристических точек «с» и «h» (рис. 2) показывает, что минимальное время фиксации точки «с» $t_c = 8$ сут (при высоких дозах), а минимальное время начала восстановления кроветворения $t_h = 21$ сут. Кроме того, отчетливо прослеживается тот факт, что длительность фазы «с» — «h» практически не зависит от дозы в диапазоне доз до 7 Гр и составляет в среднем $t_h - t_c = 8$ сут (рис. 3).

Как следует из рис. 2, минимальная доза, которая в рамках рассматриваемой модели соответствует включению режима q_1 , примерно равна $D_1 = 3$ Гр (минимальная координата по времени для точки «с»). Режим q_2 начинается, соответственно, с дозы $D_2 = 7$ Гр.

Приблизительное постоянство продолжительности интервала времени «с» — «h», отражающего длительность фазы q_2 режима запрета на дифференцировку, соответствует фиксированному времени восстановления нормального уровня стволового пула от x_2 до 1, что непосредственно следует из рассматриваемой модели. При дозах более D_2 уровень начального опустошения стволового пула оказывается ниже критического, что, как следует из модели, требует увеличения времени восстановления (рис. 3).

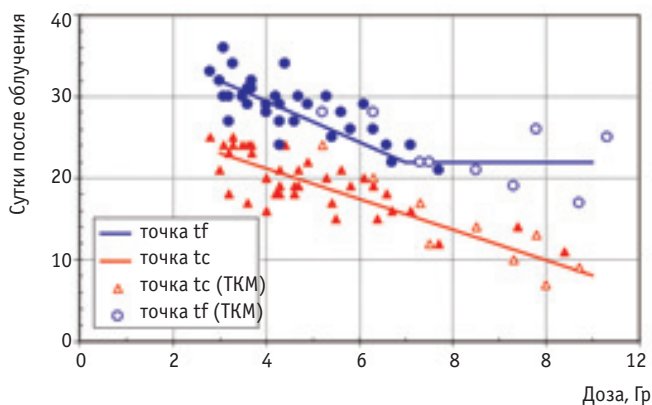


Рис. 2. Зависимость времени начала фазы вторичного опустошения t_c , и времени начала восстановления кроветворения t_f (сут) на кривой пострadiационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови от дозы гамма-излучения для когорты пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г. Отдельно выделены данные для пациентов с пересадкой костного мозга (ТКМ)

К сожалению, мы не имеем возможности корректно оценить значения критических уровней x_1 и x_2 . Это связано с тем, что значение параметра дозовой кривой D_0 варьирует в пределах от 1 до 2 Гр, а вычисляемые в рамках предложенной модели значения критических уровней сильно зависят от этого параметра. В работе [1] оценки были сделаны для $D_0 = 1,36$ Гр, при этом значение x_2 оценивалось величиной 0,009. Использование для оценок значения $D_0 = 1,89$ Гр [19] приводит к оценкам критических уровней $x_1 = 0,22$ и $x_2 = 0,028$ соответственно. Используем именно эти оценки для последующего обсуждения в рамках рассматриваемой модели.

На рис. 4 приведена сравнительная картина пострadiационной динамики изменения клеточности стволового пула (в долях от нормы) после начального опустошения различной степени относительно двух рассматриваемых критических уровней x_1 и x_2 . Условно быстрый процесс опустошения клеточности стволового пула показан протекающим в течение первых суток после облучения. Динамическая кривая, обозначенная на рис. 4 черным цветом, соответствует начальному опустошению стволового пула до критического уровня $x_0 = x_2$, при котором режим запрета на дифференцировку включается сразу. Такое включение данного режима происходит и при уровнях начального опустошения $x_0 < x_2$ (зеленая линия), при этом длительность процесса восстановления стволового пула увеличивается, что видно из рис. 4. Начальное опустошение до уровня $x_2 < x_0 \leq x_1$ (красная линия) приводит к более позднему восстановлению численности стволового пула, в пределах до границы $x_0 = x_1$, когда время полного восстановления максимально (синяя линия).

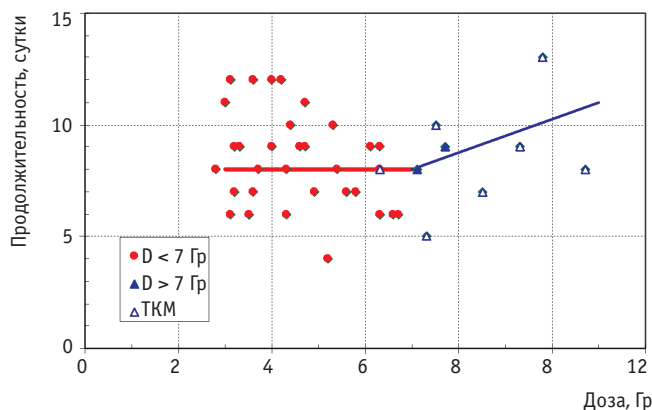


Рис. 3. Зависимость длительности стадии запрета на дифференцировку $t_c - t_f$ (сут) от дозы гамма-излучения для когорты пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г. Отдельно выделены данные для пациентов с пересадкой костного мозга (ТКМ) [1]

Обсуждение

Допустим, что приведенные модельные представления верны. Тогда имеется возможность рассмотреть вытекающие из данных модельных представлений результаты.

Из рассмотренной модели, которая не противоречит фактическим данным наблюдаемой пострadiационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови, следует предположение о возможности изменения кинетических характеристик этой динамики путем исключения режима повышенного выхода в коммитацию дифференцирующихся клеток, т.е. фазы q_1 , когда наступление режима запрета на дифференцировку происходит сразу после первичного опустошения стволового пула.

Рассмотрим, к каким эффектам может привести подобная модификация. На рис. 5 представлена теоретически достижимая модифицированная пострadiационная динамика изменения клеточности стволового пула для двух вариантов начального опустошения для уровня x_1 и для уровня $x_2 < x_0 < x_1$.

Анализируя предельные возможности такого модифицированного режима, можно видеть, что восстановление численности стволового пула и связанные с ним раскрытие блока ухода в коммитацию и, соответственно, восстановление кроветворения при дозе, соответствующей уровню начального опустошения x_1 (около 3 Гр), может произойти более чем на 2 нед. раньше по отношению к обычному режиму функционирования. При больших дозах и, соответственно, меньших значениях уровня начального опустошения способного делиться стволового пула, временной выигрыш уменьшается.

На рис. 6 представлен примерный прогноз пострadiационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови человека, основанный на изложенных выше модельных представлениях. Возможный

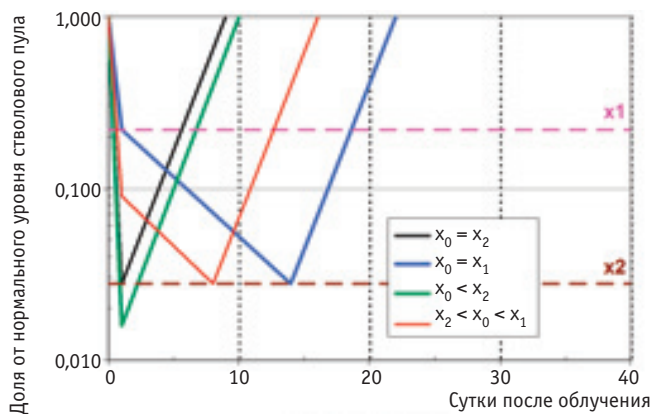


Рис. 4. Прогнозируемая динамика численности стволового пула (в долях от нормы) в локальном участке (сайте) костного мозга при различном уровне начального опустошения после облучения x_0

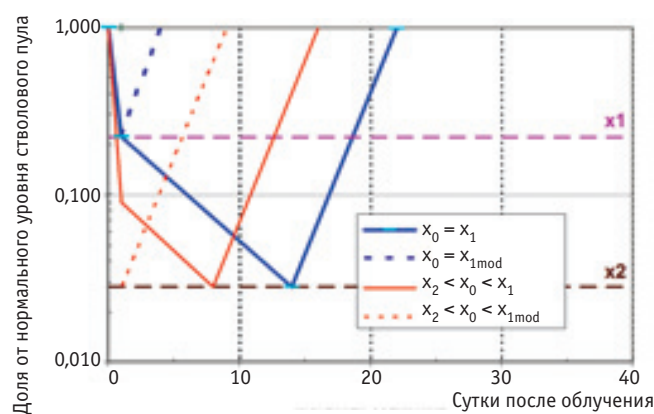


Рис. 5. Прогнозируемая динамика численности стволового пула (в долях от нормы) в локальном участке (сайте) костного мозга при различном уровне начального опустошения после облучения при обычном режиме функционирования и при модификации включения режима запрета на дифференцировку сразу после облучения — индекс mod, пунктирные линии

эффект в изменении характеристик периода развития агранулоцитоза без модификации и при включении режима запрета на дифференцировку сразу после облучения представлен на рис. 7. Как видно из рисунка, в диапазоне доз 3–5 Гр подобная процедура может дать небольшой выигрыш в продолжительности фазы агранулоцитоза от примерно 4 сут при дозах около 3 Гр с уменьшением до 2 сут при дозах около 5 Гр и с практическим отсутствием такового при дозах 6 Гр и более. При этом необходимо напомнить сделанную выше оговорку, что оценка величин критических уровней x_1 и x_2 проведена с большой неопределенностью, т.к. зависит от параметров дозовой зависимости «с плечом» стволового пула D_0 и x_0 выражения (1) в рамках предложенной модели.

Заключение

Предложена модель и ее математическое описание для оценки динамических характеристик пострадиационной динамики пула стволовых кроветворных клеток и форменных элементов (нейтрофилов) периферической крови человека. Параметры модели получены из обобщения данных лабораторных анализов пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г. Показано, что гипотетическое представление о триггерном механизме включения нескольких различных механизмов пострадиационного восстановления пула стволовых кроветворных клеток и существовании критического уровня запрета на дифференцировку не противоречит наблюдаемой картине пострадиационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови человека. На основании мо-

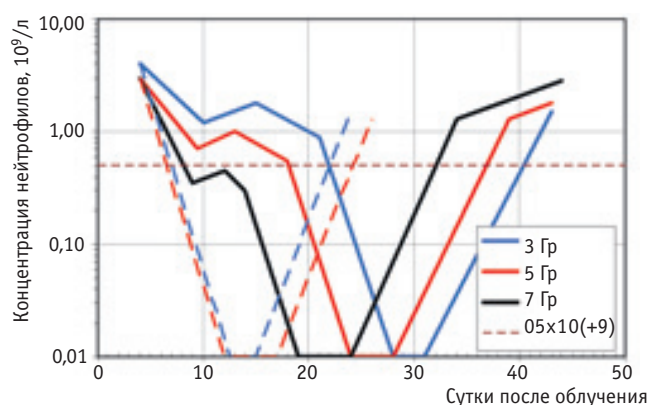


Рис. 6. Прогнозируемая динамика концентрации нейтрофилов периферической крови человека в зависимости от дозы гамма-излучения при обычном режиме функционирования процесса восстановления и при модификации включения режима запрета на дифференцировку сразу после облучения (пунктирные линии)

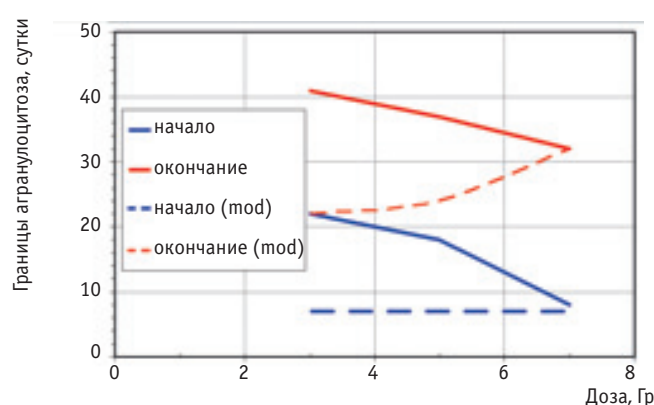


Рис. 7. Дозово-временные границы времени начала и окончания периода агранулоцитоза при обычном и условно модифицированном (mod — включение режима запрета на дифференцировку сразу после облучения — пунктирные линии) режимах функционирования механизма восстановления клеточности стволового пула

дельных представлений высказана гипотеза о возможности внешнего вмешательства в программу естественного переключения механизмов восстановления, что может привести к менее выраженному течению острого периода костномозгового синдрома, а при определенных уровнях радиационного поражения — к некоторому сокращению длительности периода агранулоцитоза. Отметим также, что наличие значимых лучевых ожогов определенным образом стимулирует восстановление кроветворения, как это было показано в работе [23].

Если принципиальные теоретические построения верны, можно надеяться на поиск таргетных препаратов, способных в той или иной степени блокировать выход в дифференцировку стволовых кроветворных клеток, определенным образом изменять клиническую картину течения костномозгового синдрома и, соответственно, несколько уменьшать риск смерти от костномозгового синдрома в диапазоне окололетальных доз 3–5 Гр при тяжелых и крайне тяжелых формах острой лучевой болезни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев В.Ю., Баранов А.Е. Оценка критического уровня «запрета на дифференцировку» численности стволовых кроветворных клеток человека // Радиобиология. 1989. Т. 29. С. 835–838.
2. Wichmann N.E., Loeffler M., Schmith S.A. Conception of haemopoietic regulation and its biomathematical realization. // In: Blood Cells. Springer-Verlag. N.-Y. Inc. 1988. P. 411–429.
3. Lajtha L.G. On the concept of the cell cycle // J. Cell Comp. Physiol. 1963. Vol. 62. № 1. P. 143–145.
4. Lajtha L.G. Cytokinetics and regulation of progenitors cell // J. Cell Comp. Physiol. 1966. Vol. 67. № 1. P. 133–148.
5. Lajtha L.G., Pozzi L.V., Schofield R., Fox M. Kinetic Properties of Haemopoietic Stem Cells // Cell Tiss. Kinet. 1969. № 2. P. 39–49.
6. Lajtha L.G. Stem Cell Concepts // Differentiation. 1979. Vol. 14. P. 23–34.
7. Терских В.В. Периоды покоя в нормальных и малигнизированных клеточных системах. // В сб.: «Клеточный цикл. Проблемы регуляции». Под ред. О.Е. Епифановой. М.: Наука. 1973. С. 165–189.
8. Конопляников А.Г. Радиобиология стволовых клеток. М.: Энергоатомиздат. 1984. 120 с.
9. Груздев Г.П. Проблема поражения кроветворной ткани при острой лучевой патологии. М.: Медицина. 1968. 139 с.
10. Гозенбук В.Л., Кеирим-Маркус И.Б., Савинский А.К., Чернов Е.Н. Дозовая нагрузка на человека в полях гамма-нейтронного излучения. М.: Атомиздат. 1978. 166 с.
11. Гозенбук В.Л., Кеирим-Маркус И.Б. Дозиметрические критерии тяжести острого облучения человека. М.: Энергоатомиздат. 1988. 183 с.
12. Chervenick P.A., Boggs D.R. Patterns of proliferation and differentiation of hematopoietic stem cells after compartment depletion // Blood. 1971. Vol. 37. № 5. P. 568–580.
13. Boggs S.S., Chervenick P.A., Boggs D.R. The effect of postirradiation bleeding or endotoxin on proliferation and differentiation of haematopoietic stem cells // Blood. 1972. Vol. 40. P. 375–379.
14. Boggs S.S., Boggs D.R. Relationship of stem cell pool size to onset differentiation // Radiat. Res. 1974. Vol. 59. P. 50–56.
15. Baranov A.E., Konchalovski M.V., Soloviev W.Ju., Guskova A.K. Use of blood cell count changes after radiation exposure in dose assessment and evaluation of bone marrow function // In: The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II. Clinical Experience and Follow-up since 1979. Ed. R.C. Ricks, S.A. Fry. P. 427–443.
16. Груздев Г.П., Иванова Т.А., Гордеева А.А., Щербова Е.Н. О функциональной мозаичности костного мозга («пульсирующий клон») // Пробл. гематол. 1980. № 5. С. 36–39.
17. Соловьев В.Ю., Баранов А.Е., Кончаловский М.В., Чистопольский А.С. Прогнозирование пострадиационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови человека при неравномерном облучении // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 1997. Т. 42. № 3. С. 17–23.
18. Соловьев В.Ю., Баранов А.Е., Хамидулин Т.М. База данных по острым лучевым поражениям человека. Сообщение 2. Прогнозирование пострадиационной динамики концентрации нейтрофилов периферической крови человека при неравномерном по телу аварийном облучении // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2011. Т. 56. № 4. С. 24–31.
19. Семенкова И.В. Радиочувствительность мезенхимальных стволовых клеток и получаемых из них для целей клеточной терапии клеток-предшественников кардиомиоцитов. Обнинск. Автореф. дисс. канд. биол. наук. 2008. 16 с.
20. Килмен С.А. Руководство по радиационной гематологии. М.: Медицина. 1974. С. 77–85.
21. Пяткин Е.К., Баранов А.Е. Биологическая индикация дозы с помощью аберраций хромосом и количества клеток в периферической крови // Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР. Сер. «Радиационная биология». 1980. Т. 3. С. 103–179.
22. Кончаловский М.В., Баранов А.Е., Соловьев В.Ю. Дозовые кривые нейтрофилов и лимфоцитов при общем относительно равномерном гамма-облучении человека (по материалам аварии на ЧАЭС) // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 1991. Т. 36. № 1. С. 29–33.
23. Соловьев В.Ю., Баранов А.Е., Хамидулин Т.М., Зиновьева Н.В. База данных по острым лучевым поражениям человека. Сообщение 3. Особенности прогнозирования пострадиационной динамики концентрации нейтрофилов в периферической крови при костномозговом синдроме, отягощенном лучевыми ожогами, а также при неравномерном облучении // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2013. Т. 58. № 6. С. 30–35.

Поступила: 03.06.2015

Принята к опубликованию: 14.12.2015

**В.И. Рубцов, В.Н. Клочков, Н.А. Суровцев, А.Ю. Нефедов,
Е.В. Ключкова, А.Б. Требухин, И.О. Чибakov**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ
МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПРОЦЕДУР
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ**

**V.I. Rubtsov, V.N. Klochkov, N.A. Surovtsev, A.Yu. Nefedov,
E.V. Klochkova, A.B. Trebukhin, I.O. Chibakov**

**Improving Radiation Safety of Medical Staff during Diagnostic
and Treatment Procedures with the Application of Radionuclides**

РЕФЕРАТ

Цель: Выработка рекомендаций по совершенствованию радиационной защиты медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения.

Материал и методы: В работе проанализированы данные литературы о дозах медицинского облучения персонала и пациентов центров ядерной медицины в нашей стране и за рубежом и их вклад в общую коллективную дозу за счет техногенных источников.

Результаты: В результате анализа данных литературы и опыта многолетних собственных исследований изложены общие принципы обеспечения радиационной безопасности медицинского персонала, а также организации индивидуальной защиты при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения.

Вывод: Разработаны основные принципы организации индивидуальной защиты для обеспечения радиационной безопасности персонала в ядерной медицине.

Ключевые слова: ядерная медицина, дозы медицинского облучения, внешнее и внутреннее облучение, радионуклиды, средства индивидуальной защиты

ABSTRACT

Purpose: To give recommendations on improving radiation safety of medical staff during diagnostic and treatment procedures with the Application of radionuclides and ionizing radiation sources.

Material and methods: Literature data on doses of medical exposure of the medical staff and patients at domestic and abroad nuclear medicine centers and their contribution to the total collective dose from man-made radiation sources have been analyzed.

Results: Based on results of analysis of literature data and long experience of internal research, general concepts of assuring radiation safety of medical staff, as well as individual protection when performing diagnostic and treatment procedures with the application of radionuclides and ionizing radiation sources are described.

Conclusion: Basic principles of individual protection for assuring radiation safety of medical staff in nuclear medicine have been developed.

Key words: nuclear medicine, medical exposure doses, external and internal exposure, radionuclides, personal protective equipment

Введение

Обеспечение радиационной безопасности осуществляется путем соблюдения санитарных правил, норм, гигиенических нормативов; правил радиационной безопасности; государственных стандартов; строительных норм и правил; правил охраны труда; распорядительных, инструктивных, методических и иных документов. Проблема эффективной радиационной защиты персонала, пациентов и населения России в ядерной медицине также является одной из приоритетных государственных задач [1–7].

Медицинское диагностическое облучение является главным фактором радиационного воздействия на население. Вклад медицинского облучения в общую коллективную дозу за счет техногенных источников ионизирующего излучения (ИИИ) населения

развитых стран составляет более 95 % [8]. Практика экстенсивного подхода и инновационных методов высокой информативности в рентгеновской и радионуклидной диагностике, в частности, в рентгеновской компьютерной томографии (КТ), сопровождается значительными дозами облучения пациентов и персонала, поэтому медицинское облучение является особой категорией облучения, для которого принцип оптимизации является наиболее актуальным [9].

Материал и методы

Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека постоянно ведется оценка радиационной безопасности населения Российской Федерации при медицинском облучении. В настоящее время медицинское облу-

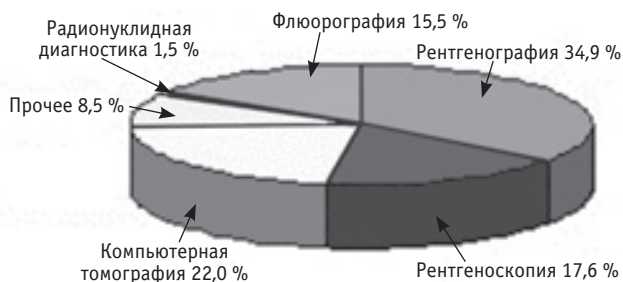


Рис. 1. Вклад различных методов диагностики в дозу медицинского облучения населения, %

чение, т.е. облучение пациентов, во всех субъектах Российской Федерации занимает второе место после облучения природными источниками. Вклад медицинского облучения в коллективную дозу населения Российской Федерации составляет 14,4 % [10]. Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения пациентов вносят рентгенографические исследования и КТ (рис. 1).

По данным Роспотребнадзора, годовая эффективная доза от медицинского облучения на душу населения России в течение последних лет снижается и в 2012 г. составила в среднем около 0,6 мЗв [11]. Это самый низкий показатель за все время наблюдения (с 1970 г.) и в 3,5 раза ниже, чем в экономически развитых странах. Последний факт обусловлен не столько адекватным решением в нашей стране проблемы снижения доз облучения пациентов и персонала, сколько меньшим количеством диагностических радиологических процедур и недостаточным количеством таких современных диагностических устройств, как компьютерные томографы, обеспечивающих получение ценной диагностической информации, но создающих высокие дозы облучения пациентов.

Суммарное количество всех диагностических рентгенодиагностических процедур в России в 2012 г. достигло 241 млн. Это означает, что на душу населения (143 млн чел.) приходится 1,7 процедуры в год (или 1,2 исследования, а в экономически развитых странах — 1,6 исследования) и наблюдается устойчивый рост — на 40 % за последние 10 лет при росте заболеваемости на 17,0 % за этот же период.

Коллективная доза облучения населения Российской Федерации за счет диагностического использования медицинских ИИИ в 2012 г. составила 78,7 тыс. чел.-Зв. До настоящего времени происходило ее постоянное снижение — за 10 лет на 30 % (ранее — по 3 % в год, в последние годы — 0,3 % в год). Таким образом, скорость снижения коллективной дозы замедляется.

Таким образом, медицинское облучение пациентов при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и ис-

точников ионизирующего излучения является своеобразным «побочным отрицательным эффектом» в необходимом и положительном процессе диагностики различных заболеваний. В то же время облучение медицинского персонала, проводящего указанные диагностические обследования, является несомненным отрицательным эффектом, не имеющим положительных сторон. Поэтому дозы медицинского диагностического облучения пациентов должны снижаться с учетом соотношения «польза (уточнение диагноза) — вред (отрицательные последствия облучения)». Дозы облучения медицинского персонала должны минимизироваться всеми существующими методами, в том числе применением эффективных средств индивидуальной защиты.

Наличие вредных и опасных факторов, а также интенсивность их воздействия напрямую связаны с организацией процесса диагностики с применением ионизирующего излучения и радионуклидов, а также с качеством специального оборудования.

В настоящее время начата реализация крупного инновационного проекта ФМБА России в рамках государственной программы «Создание федеральных центров медицинских радиологических технологий». Создаются крупные центры ядерной медицины в Димитровграде, Обнинске, Томске, Казани, Хабаровске и других городах. Эти центры оснащаются самым современным оборудованием для диагностики и лечения заболеваний.

Нами были изучены условия труда персонала Казанского Республиканского центра ядерной медицины, в котором осуществляется дистанционная, внутриволостная, контактная лучевая терапия с помощью закрытых ИИИ, радионуклидная диагностика с применением открытых источников ионизирующего излучения, таких как ^{99m}Tc , ^{18}F . Анализ показывает, что даже в условиях применения самого современного оборудования необходимо применение специальных мер по обеспечению радиационной безопасности персонала.

Сотрудниками ФМБЦ им. А.И. Бурназяна В.М. Корсунским, Г.Е. Кодиной и А.Б. Брускиным был проведен анализ состояния и перспектив развития ядерной медицины на современном этапе [12].

По данным этих исследователей, как аппаратное оснащение, так и обеспечение кадрами центров ядерной медицины в нашей стране, к сожалению, существенно отстает от мирового уровня. В то же время за последние 3–5 лет наметилась положительная тенденция в решении данной проблемы.

Одним из важных способов обеспечения безопасности персонала является применение средств индивидуальной защиты (СИЗ). На основе имеющегося большого опыта исследований в области обеспечения индивидуальной защиты персонала при работе

с ионизирующими излучениями и радиоактивными веществами, сформулированы, обоснованы и апробированы основные принципы обеспечения индивидуальной защиты персонала предприятий атомной промышленности и энергетики. Поэтому, решая проблему радиационной защиты (в том числе и индивидуальной защиты) медицинского персонала центров ядерной медицины, мы посчитали возможным в определенной мере использовать этот опыт [13–17].

Защита персонала центров ядерной медицины от прямого и рассеянного излучения рентгеновских аппаратов, облучательских установок на основе радионуклидных источников или ускорителей заряженных частиц обеспечивается штатными системами биологической защиты и не требует дополнительных защитных мероприятий сверх предусмотренных регламентом их эксплуатации. Применение СИЗ в этих ситуациях бесперспективно или нецелесообразно, за исключением некоторых видов СИЗ от воздействия бета-излучения или мягкого фотонного излучения. Основные принципы обеспечения радиационной безопасности персонала при эксплуатации закрытых источников представлены в документах [18–20].

Применение в центрах ядерной медицины открытых ИИИ требует осуществления комплекса организационных и технических мероприятий по защите персонала. Радиационная защита персонала подразделений ядерной медицины имеет выраженную специфику, обусловленную необходимостью предотвращения или снижения уровней как внешнего, так и внутреннего профессионального облучения. Организации работ с открытыми радионуклидными источниками излучения в центрах ядерной медицины, а также соответствующие мероприятия по обеспечению радиационной безопасности персонала представлены в нормативных документах [21–23].

Защита персонала от внешнего гамма- и бета-облучения от радионуклидных генераторов и фасовок с радиофармпрепаратами осуществляется путем выполнения следующих требований [1]:

- исключение доступа в помещения блоков радионуклидного обеспечения и «активных» палат всех лиц, не участвующих в выполнении процедур радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии;
- увеличение (по возможности) расстояния между источником и работающим с ним сотрудником, в том числе между сотрудниками и пациентами с введенными радиофармпрепаратами;
- сокращение (по возможности) времени пребывания персонала в радиационных полях, в том числе сокращение времени контакта с пациентами с введенными радиофармпрепаратами, но без снижения качества диагностики и лечения;

- использование стационарных и переносных средств радиационной защиты, в том числе СИЗ защиты от бета- и мягкого (до 60 кэВ) фотонного излучения;
- использование инструментов для дистанционного манипулирования с радионуклидными источниками, в том числе с радиоактивными отходами;
- парэнтеральное введение радиофармпрепаратов с помощью шприцев и капельниц, оборудованных локальной защитой.

Защита от внутреннего облучения осуществляется путем реализации комплекса мер по предотвращению поступления радионуклидов в организм персонала [1]:

- применение комплекта СИЗ, включающего в обязательном порядке средства защиты органов дыхания (легкие противоаэрозольные респираторы, в необходимых случаях противогазоаэрозольные респираторы), и средства защиты кожных покровов (хирургические перчатки, основная спецодежда и спецобувь), при уборке помещений блоков радионуклидного обеспечения и «активных» палат и в аварийных ситуациях (СИЗ органов дыхания, дополнительная спецодежда и спецобувь);
- применение и регулярная замена защитных покрытий (бумаги, полимерной пленки) в палатах и санузлах для защиты от загрязнения поверхности пола;
- регулярная смена спецодежды и, при необходимости, ее дезактивация;
- по возможности использование одноразовых СИЗ с их последующим удалением как твердых радиоактивных отходов;
- предотвращение распространения радиоактивных веществ в другие помещения за счет контактного переноса на обуви и на загрязненных перчатках;
- обеспечения сбора, хранения и удаления радиоактивных отходов, образующихся при работе центров ядерной медицины.

Следует отметить, что условия труда в центрах ядерной медицины с применением радионуклидной диагностики и терапии имеют существенные особенности. Первая особенность заключается в том, что радионуклиды используются в химических формах, которые легко усваиваются организмом пациентов и быстро накапливаются в отдельных органах-мишенях. За счет этого достигаются максимальные дозовые коэффициенты радионуклидов, что приводит к формированию максимальных доз облучения в расчете на единицу поступления радионуклида.

Второй особенностью является применение короткоживущих радионуклидов с периодом полураспада от нескольких часов до нескольких суток. Из гамма-излучающих нуклидов применяются технеций-99m (период полураспада $T_{1/2} = 6,2$ ч), йод-123 (13,2 ч), галлий-67 (3,26 сут), индий-111 (2,83 сут) и другие. В позитронной эмиссионной томографии в

основном применяются позитронно-излучающие радионуклиды: углерод-11 (0,34 ч), азот-13 (9,96 мин), кислород-15 (2,03 мин), фтор-18 (1,83 ч). Столь малые периоды полураспада перечисленных нуклидов делают необходимым производство радиофармпрепаратов в медицинских учреждениях непосредственно перед проведением медицинской диагностической или лечебной процедуры. В этих условиях крайне затруднены контроль объемной активности радионуклидов в воздухе и контроль поступления радионуклидов в организм персонала. Широко применяемый метод контроля внутреннего облучения с помощью спектрометров излучения человека (СИЧ) может привести к получению недостоверных результатов. Например, контроль содержания фтора-18 в организме работника с помощью СИЧ в конце рабочего дня (т.е. когда от момента поступления радионуклида прошло около 6 часов и до 80 % поступившего в организм радионуклида распалось) приведет к большой неопределенности результата. Для радионуклидов с еще более коротким периодом полураспада контроль поступления с помощью СИЧ приведет к совершенно неприемлемой неопределенности результатов.

Поэтому представляется необходимым развитие систем дозиметрии внешнего и внутреннего облучения персонала с учетом особенностей центров ядерной медицины. Принимая во внимание трудности контроля доз облучения персонала, необходимо сосредоточить основные усилия на защите персонала от внешнего облучения и поступления радионуклидов в организм. При этом необходимо учитывать, что СИЗ медицинского персонала при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием радионуклидов и источников ионизирующего излучения целесообразно применять только в тех случаях, когда применение других технических, организационных (защита временем, расстоянием, зонированием помещений) мероприятий, применение коллективных средств защиты ограничено или вообще невозможно.

СИЗ для защиты медицинского персонала должны выбираться с учетом особенностей их применения. Основной особенностью является минимальное воздействие на физиологические системы медицинского работника, минимальное ограничение полей зрения, минимальное снижение тактильной чувствительности пальцев рук. То есть СИЗ должны минимальным образом затруднять проведение медицинским персоналом диагностических и лечебных процедур.

Третья особенность условий труда в центрах ядерной медицины обусловлена указанной выше невозможностью индивидуального контроля доз внутреннего облучения. Это приводит к необходимости применения СИЗ органов дыхания и кожных покровов по принципу превентивного применения, или принципу избыточной защиты.

Однако избыточность защиты должна быть умеренной с учетом четвертой особенности применения СИЗ — как эти СИЗ воспримет пациент. Прохождение обследования и лечения в центрах ядерной медицины обусловлено тяжелыми заболеваниями пациентов, в основном, онкологическими. Это влияет на психоэмоциональное состояние пациентов, обостренное восприятие любой информации, свидетельствующей о тяжести его заболевания. В этих условиях неадекватно усиленная индивидуальная защита медицинского персонала при обследовании и лечении пациентов может испугать и ухудшить психоэмоциональное состояние пациентов, что может отрицательно отразиться на результатах лечения.

Поэтому комплект СИЗ медицинского персонала должен формироваться из условия разумной достаточности. Для оптимизации радиационной защиты необходимо применение новых высокоэффективных СИЗ различного назначения на основе выбора оптимального соотношения между их физиологической приемлемостью и защитной эффективностью.

Выводы

1. Выявленные особенности условий труда медицинского персонала центров ядерной медицины требуют совершенствования организации индивидуальной защиты персонала и применения современных высокоэффективных СИЗ органов дыхания и кожных покровов.

2. В соответствии с осуществляемой в настоящее время политикой в области технического регулирования актуальным является создание системы сертификации СИЗ медицинского персонала при осуществлении новых медицинских радиологических технологий на соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» ТР ТС 019/2011 [24].

3. Важнейшим направлением цикла работ по совершенствованию радиационной защиты медицинского персонала центров ядерной медицины должно стать обучение работников как основам радиационной безопасности, так и практическим навыкам безопасного проведения работ. Для этого необходимы подготовка учебной программы последипломного профессионального образования, разработка руководств и методических пособий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костылев В.А., Наркевич Б.Я. Радиационная безопасность в медицине. Учебное пособие. М.: Издательство «Гривант». 2014. 202 с.
2. Радиационная защита в медицине. Публикация 105 МКРЗ. Под ред. Д. Валентина. СПб., НИИ радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева. 2011. 66 с.

3. Ильин Л.А. Радиобиология и радиационная медицина проблемы и перспективы их взаимодействия в рамках регламентации ионизирующих излучений // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 1998. Т. 43. № 1. С. 8–17.
4. Кириллов В.Ф., Коренков И.П., Ильин Л.А. Радиационная гигиена. М.: Изд-во ГЭОТАР-Медиа. 2010. 384 с.
5. Беляев В.Н., Климанов В.А. Физика ядерной медицины. Часть 2. Позитронно-эмиссионные сканеры. реконструкция изображений в позитронно-эмиссионной томографии. комбинированные системы ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/ПЭТ. кинетика радиофармпрепаратов. радионуклидная терапия. внутренняя дозиметрия. радиационная безопасность. Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ. 2012. 248 с.
6. Онищенко Г.Г. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации по результатам радиационно-гигиенической паспортизации // Гигиена и санитария. 2009. № 3. С. 4–7.
7. Наркевич Б.Я., Костылев В.А. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в современной радионуклидной диагностике // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2009. Т. 54. № 2. С. 166–167.
8. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume 1. Annex A. Medical Radiation Exposures. United Nations. New York. 2010.
9. Mettler F.A. et al. Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: a Catalog // Radiology. 2008. Vol. 248. № 1. P. 254–263.
10. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2013 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2014. 191 с.
11. Попова А.Ю. Об оценке радиационной безопасности населения при медицинском облучении и эффективности санитарного надзора. Справка Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 19.12.2013 № 01/14570-13-32. М., 2014.
12. Корсунский В.Н., Кодина Г.Е., Брускин А.Б. Ядерная медицина: состояние и перспективы развития // Атомная стратегия. 2007. № 21. С. 4–6.
13. Рубцов В.И., Клочков В.Н. Индивидуальная защита персонала от радиационного воздействия и вопросы дезактивации // В кн.: «Радиационная медицина». Т. 3. Радиационная гигиена. М.: ИздАТ. 2002. С. 335–364.
14. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Суровцев Н.А. и соавт. Разработка и внедрение комплекса нормативно-методических и информационных материалов по средствам индивидуальной защиты // Юбилейный сборник, посвященный 50-летию Головного центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора Федерального управления «Медбиоэкстрем». М.: Федеральное управление «Медбиоэкстрем». 2004. С. 156–160.
15. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Суровцев Н.А. и соавт. Организация санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при радиационных авариях. Руководство. М.: ФГУ «ВЦМК Защита» Росздрав. 2005. 524 с.
16. Романов В.В., Рубцов В.И., Клочков В.Н. и соавт. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за выбором и эксплуатацией средств индивидуальной защиты органов дыхания на радиационно-опасных объектах // Гигиена и санитария. 2006. № 4. С. 78–81.
17. Романов В.В., Рубцов В.И., Клочков В.Н. и соавт. Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за выбором и эксплуатацией средств индивидуальной защиты кожных покровов на объектах и территориях, обслуживаемых Федеральным медико-биологическим агентством // Медицина труда и промышленная экология. 2007. № 8. С. 42–48.
18. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ. СанПиН 2.6.1.2573-10.
19. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. СанПиН 2.6.1.1192-03.
20. Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения. СанПиН 2.6.1.2891-11.
21. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов. МУ 2.6.1.1892-04.
22. Обеспечение радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики методами радиоиммунного анализа *in vitro*. МУ 2.6.1.2308-08.
23. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. СанПиН 2.6.1.2368-08.
24. Технический регламент Таможенного союза о безопасности средств индивидуальной защиты ТР ТС 019/2011.

Поступила: 29.12.2014

Принята к публикации: 15.12.2015

А.Л. Полудин

ФОРМЫ ТЕХНОГЕННОГО УРАНА В ПОЧВАХ БЕРЕГА ОЗЕРА СИНАРА КАСЛИНСКОГО РАЙОНА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

A.L. Polyudin

Forms of Technogenic Uranium in the Soil of the Shore of the Lake Cinara, Kaslinsky District, Chelyabinsk Region

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Цель: Исследование форм нахождения, накопления, распределения урана в почвах зоны влияния ФГУП «РФЯЦ ВНИИТФ» и факторы, определяющие особенности почвы как основной депонирующей среды.

Материал и методы: Закладывались почвенные разрезы с учетом элементарных геохимических ландшафтов. В исследуемых образцах проб проводилось последовательное селективное выделение физико-химических форм урана и последующий их анализ спектрофотометрическим методом с использованием трибутилфосфата и арсеназо III. Также определялись кислотность почвы, окислительно-восстановительный потенциал, гранулометрический состав, плотность почвы, плотность твердой фазы почвы и рассчитывался коэффициент фильтрации в ней.

Результаты: Актуальная кислотность находится в диапазоне от 5,5 до 7,4. Окислительно-восстановительный потенциал — от 273 до 348 мВ. Показатель, демонстрирующий интенсивность протекания процессов (rH_2), характеризует исследуемые почвы, как среду, периодически создающую восстановительную обстановку. В данных условиях уран обладает сильной миграционной способностью. А элементы, влияющие на способность почв фиксировать уран (железо и марганец), находятся в переходных степенях окисления.

Исследуемые почвы имеют легкий гранулометрический состав и плохо задерживают поллютанты, преобладающей фракцией исследуемых почв является мелкий песок (0,25–0,05 мм). Коэффициент фильтрации можно оценить как высокий для почв элювиальной и трансэлювиальной позиции и исключительно высокий — для почв супераквальной позиции.

Содержание урана достигало 20 мг/кг в почве трансэлювиальной позиции, его экстракционный критерий, характеризующий антропогенную компоненту в почвах трансэлювиальной позиции, доходит до 93 %. Уран сконцентрирован преимущественно в почвах трансэлювиальной позиции, связан с водорастворимыми карбонатами и глинистыми минералами. В почвах супераквальной и элювиальной позиции уран — в стабильных и слабоподверженных миграции кислоторастворимой (связанной с полуторными оксидами) и остаточной формах. Доля потенциально подвижной формы от общего содержания урана находится в диапазоне от 25 до 89 %. Максимальное содержание наблюдается на глубине 20–25 см преимущественно в форме, связанной с полуторными оксидами и минеральной компонентой почвы. Потенциально-подвижная форма в структуре экстракционного критерия имеет пик содержания на глубине 8–12 см и обусловлена преимущественно с формами урана, связанными с водорастворимыми карбонатами и глинистыми минералами.

Ключевые слова: долгоживущие радионуклиды, уран, формы нахождения, почвы, выбросы

Purpose: To study the modes of occurrence, accumulation, distribution of uranium in the soil of the area of influence of Russian Federal Nuclear Center, to study the features, determining the peculiarities of the soil as the main storage medium

Material and methods: Soil profiles were laid according to the elementary geochemical landscapes. In the samples consecutively selective recovery of physical and chemical forms of uranium and the subsequent analysis by spectrophotometry with the usage of tributyl phosphate and arsenazo III were carried out. Also soil acidity, redox potential, particle size distribution, soil density, the density of the solid phase of the soil were determined and filtration coefficient in the soil was calculated as well.

Results: Actual acidity is in the range from 5.5 to 7.4. Redox is in the range from 273 to 348 mV. The indicator shows the intensity of the processes (rH_2), and characterizes the soil as an environment, periodically reducing atmosphere. Under these conditions uranium, has a strong migratory ability. And the elements that affect the ability of soils to capture the element (iron and manganese) are in transitional oxidation. The soils that were studied have an easy size distribution and bad detained pollutants, the predominant fraction of the soils is a fine sand (0.25–0.05 mm). Filtration coefficient can be assessed as a high one for the soil of the eluvial and transeluvial position and extremely high for the soil of the supraqual position. The uranium content was 20 mg/kg in the soil of the transeluvial position, its characterizing anthropogenic component in the soils of the transeluvial position came to 93 %. Uranium was concentrated mainly in the soils of the transeluvial position and tied to water-soluble carbonates and clay minerals. In the soils of the eluvial and supraqual position uranium is in a stable and minimal migration of the acid (tied to sesquioxide), and also in the remaining forms. Potentially movable mold of the total content of uranium is in the range of 25 to 89 %. The maximum content is observed at the depth of 20–25 cm in the form predominantly connected to the sesquioxide and mineral components of the soil. Potentially mobile forms in the structure of the extraction criterion is the content of the peak at the depth of 8–12 cm, owing to the forms of uranium tied to the water-soluble carbonates and clay minerals.

Key words: long-lived radionuclides, uranium, forms of occurrence, soil emissions

Введение

ФГУП «РФЯЦ ВНИИТФ» в процессе своей деятельности проводит нерегулярные разовые выбросы урана. Фактический годовой выброс данного эле-

мента не превышает установленных нормативов [1]. В связи с особой значимостью почвы, как основной депонирующей среды, и в соответствии с пунктом 15.15 СанПиН 2.6.1.07-03, [2], предполагается контроль ее радиационной обстановки.

ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина, Снежинск. E-mail: anderggg@mail.ru

E.I. Zababakhin Russia Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia. E-mail: anderggg@mail.ru

Для оценки воздействия на окружающую среду анализ содержания, накопления и распределения урана в почве — основной депонирующей среде, характеризующей перераспределение и накопление аэрозольных выпадений урана, — является наиболее актуальным [3].

Большую сложность представляет изучение поведения соединений различных металлов техногенного происхождения в почвах. Изучение исключительно общего (валового) содержания поллютантов в почвах является недостаточным. Подобные исследования могут отражать лишь направление некоторых процессов, например, миграции (вынос или накопление вещества). Делать выводы о возможных механизмах трансформации техногенных форм в почве и об их дальнейшей судьбе в данном случае затруднительно. Наличие разных форм нахождения исследуемых элементов, отличающихся как подвижностью и биологической доступностью, так и механизмами их закрепления в почве, диктует необходимость их более детального изучения [4].

Основными свойствами почвы, предполагающими вынос урана в водные объекты, являются окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), кислотность почвы (рН), гранулометрический состав, фильтрующая способность почв.

Так, почвы более тяжелого гранулометрического состава (глинистые) лучше аккумулируют тяжелые металлы, чем легкие (песчаные). Используя данные гранулометрического состава, плотности почвы, плотности твердой фазы почвы, можно рассчитать коэффициент фильтрации (КФ) почвы по Салаи. Данный показатель имеет большое значение, поскольку в гумидных регионах (регионах с избыточным увлажнением) содержание урана составляет около 0,1 мг/кг, что связано с вымыванием данного элемента из коры выветривания [5, 6]. Кислотность почвы и ОВП играют определяющую роль в оценке степени подвижности урана [7]. Так, при показателях от 100 до 300 мВ уран находится преимущественно в четырехвалентном состоянии и характеризуется низкой подвижностью. При показателях более 300 мВ уран находится в шестивалентном состоянии и характеризуется высокой миграционной способностью, такой же, как у стронция, натрия, кальция. Используя показатель gH_2 , объединяющий в себе показатели кислотности и ОВП, можно говорить об интенсивности протекающих процессов окисления или восстановления в почвах [8].

Материал и методы

Исследование проводилось на территории Челябинской области. Место отбора проб — берег озера Синара — зона влияния ФГУП «РФЯЦ ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», которая в рамках ад-

министративно-территориальной принадлежности относится к Каслинскому району Челябинской области, а с точки зрения зонального деления — к горнолесной зоне [9].

Для оценки распределения урана, сформированного в результате выброса, закладывались почвенные разрезы в соответствии с классом элементарных геохимических ландшафтов, которые устанавливались методом комплексного физико-географического профилирования [10]. Почвы из почвенных разрезов вынимали слоями с учетом глубины отобранной пробы, после чего высушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с ячейками 1 и 3 мм с определением плотности почвы [11].

Проводилось определение гранулометрического состава почвы методом пипетки. Рассчитывался коэффициент фильтрации по Козени [12]. Кислотность почвы (актуальная и обменная), а так же ОВП, плотность почвы и плотность твердой фазы почвы определялись стандартным методом [13]. Более подробно химический состав исследуемых почв представлен в работе [14].

Для оценки возможных подходов к исследованиям распределения урана в почве анализировалось содержание искомого элемента в различных вытяжках. Проводилось последовательное выделение 6 форм урана: обменной (выщелачивалась 1М CH_3COONa при рН водной вытяжки), подвижной (1М CH_3COONa , рН = 5), восстанавливаемой (0,04М $[NH_3OH]Cl$, рН = 2), окисляемой (0,008М HNO_3 , рН = 2), кислоторастворимой (7М HNO_3) и остаточной ($HF + HNO_3$). Обменная и подвижная формы выщелачивают преимущественно уран, связанный с водорастворимыми карбонатами, восстанавливаемая — преимущественно с глинистыми минералами, окисляемая — с органическим веществом почвы, кислоторастворимая — с полутормными оксидами, остаточная — форма урана, связанная с кристаллической решеткой минеральной компоненты почвы и не выщелачиваемая в рамках данной методики. Кислоторастворимая и остаточная форма условно не подвержены вымыванию из почвенного профиля [15, 16]. Определение содержания урана в различных вытяжках проводили спектрофотометрическим методом с использованием трибутилфосфата и арсената III [17].

Заклаывались три разреза глубиной по 80 см каждый. Первый располагался на расстоянии 1,5 км от оз. Синара. Отобранные пробы относились к почвам элювиальной позиции. Относительный перепад высот составлял около 60 м. Второй разрез закладывался на расстоянии 50 м от берега оз. Синара и относился к почвам трансэлювиальной позиции. Относительный перепад высот не превышал 20 м от уреза воды. Третий — на расстоянии 8 м от берега оз. Синара и относился к почвам суперэлювиальной позиции. Относительный перепад высот около 1 м.

Результаты и обсуждение

Результаты гранулометрического анализа методом пипетки [12] приведены на рис. 1. В исследуемых почвах преобладала фракция 0,25–0,05 мм. В почвах элювиальной позиции доля фракции варьировала от 47 до 53 %. В почвах трансэлювиальной позиции – от 39 до 62 %, супераквальной позиции – от 21 до 70 %. Значимую долю составляла фракция 0,01–0,005 мм, которая в почвах элювиальной позиции достигала 31 %, в супераквальной позиции – 23 %.

По содержанию скелетных элементов элювиальные и трансэлювиальные почвы относятся к среднекаменистым, супераквальные – к сильнокаменистым. Классифицируя исследуемые почвы по гранулометрическому составу, можно сказать, что почвы элювиальной позиции относятся к суглинку среднему, а трансэлювиальной и супераквальной позиции – к супеси.

Показатели плотности почвы, плотности твердой фазы почвы, ОВП, кислотности и коэффициента фильтрации представлены в табл. 1. Плотность исследуемых почв находится в диапазоне от 0,4 до 0,6 г/см³ в верхних горизонтах, что характеризует ее как вспушенную и богатую органическим веществом. Общая (актуальная) кислотность всех исследуемых почв от 5,5 до 7,4, характеризуется от слабокислой до нейтральной среды. Обменная кислотность во всех почвах находилась в диапазоне от 4,6 до 5,5, что описывает ее как слабо-среднекислую.

Показатели плотности твердой фазы почвы – от 2,2 до 2,5 г/см³, что соответствует типичным показателям для серой лесной и подзолистой почвы.

Одним из главных параметров, определяющих миграционную способность урана, является его ОВП. Данный показатель для почв элювиальной позиции – от 273 мВ до 323 мВ, трансэлювиальной позиции составляет от 299 до 304 мВ, в почвах супераквальной позиции, а в верхних – от 278 до 348 мВ. Для всех исследованных почв характерен умеренно восстановительный режим.

Для характеристики интенсивности протекания процессов восстановления или окисления используется показатель gH_2 . Если данный показатель больше 27, то в почве преобладают окислительные процессы, если в диапазоне 22–25, то это означает, что создается восстановительная обстановка, а если менее 20 – восстановительные процессы протекают с высокой интенсивностью. Все данные gH_2 свидетельствуют о наличии восстановительной среды и создании восстановительной обстановки. При наличии контрастной или умеренно восстановительной (как и в нашем случае) среды уран характеризуется как элемент, обладающий сильной миграционной способностью [5].

Данные ОВП позволяют также охарактеризовать валентность некоторых других веществ, влияющих на возможность окисления урана VI до урана IV. Так, для железа данные показатели являются переходными и свидетельствуют о наличии Fe^{2+} и Fe^{3+} , а также что в исследуемых почвах присутствует как Mn^{4+} , так и Mn^{2+} (в системе $Mn^{4+} - Mn^{2+}$ ион Mn^{2+} в кислой среде присутствует во всех диапазонах ОВП, в нейтральной – только в значениях, приближенных к 300 мВ) [8].

Таблица 1

Данные физико-химических свойств почв элювиальной, трансэлювиальной и супераквальной позиций

№	Мощность, см	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Плотность почвы, г/см ³	Коэф. фильтр, см/сут (КФ)	pH _{нон}	pH _{KCL}	ОВП, мВ	gH_2
Элювиальной позиции								
1	7	2,29 ± 0,02	0,68	55,8	5,27	4,15	323,7	21,33
2	11	2,50 ± 0,01	0,80	36,6	5,48	4,22	329,6	21,95
3	22	2,51 ± 0,02	0,94	26,0	6,14	4,48	312,0	22,68
4	32	2,44 ± 0,01	0,76	25,0	6,51	5,02	308,0	23,29
5	52	2,56 ± 0,02	0,75	33,3	7,41	6,16	273,3	23,93
Трансэлювиальной позиции								
1	7	2,00 ± 0,03	0,62	73,9	6,55	4,07	299,5	23,08
2	11	2,29 ± 0,04	0,87	40,1	6,51	4,12	300,5	23,04
3	22	2,21 ± 0,02	1,04	11,9	6,49	3,63	302,9	23,08
4	32	2,27 ± 0,03	1,16	7,7	6,46	3,75	301,8	22,98
5	52	2,11 ± 0,03	1,02	12,9	6,47	3,87	303,9	23,07
Супераквальной позиции								
1	7	2,16 ± 0,03	0,46	390,3	5,44	4,79	278,0	20,15
2	11	2,41 ± 0,02	0,60	146,7	5,54	4,52	299,3	21,06
3	22	2,79 ± 0,02	0,73	184,3	5,40	4,21	295,3	20,64
4	32	2,27 ± 0,02	1,16	3,7	5,51	4,06	350,3	22,70
5	52	2,52 ± 0,02	1,12	10,9	5,56	4,12	348,1	22,72

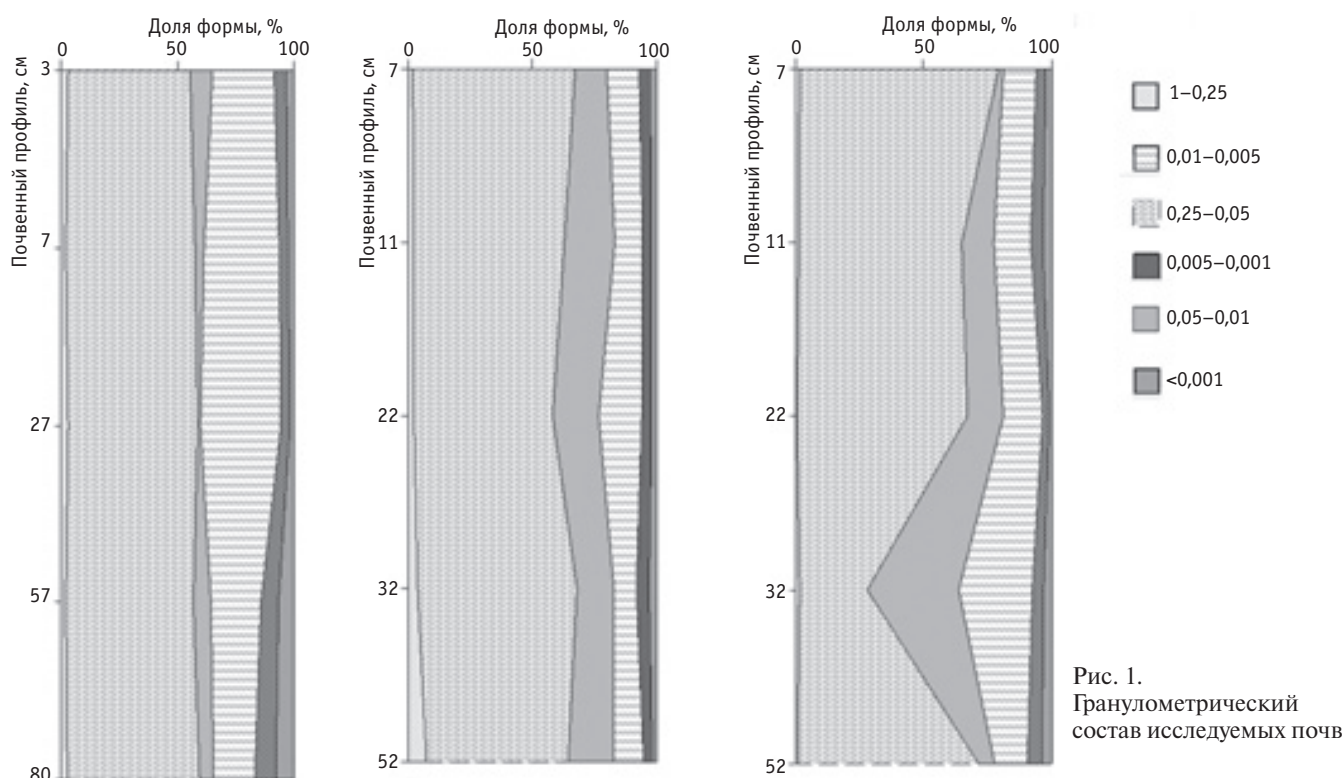


Рис. 1.
Гранулометрический
состав исследуемых почв

Для почвы элювиальной позиции КФ находится в диапазоне от 25 до 55 см/сут, для почвы трансэлювиальной позиции – до 74 см/сут, супераквальной позиции – 390 см/сут. Данные результаты можно охарактеризовать (по Зайдельману) как высокие для почв элювиальной и трансэлювиальной позиции и исключительно высокие для супераквальной позиции.

Содержание урана (табл. 2, 3, 4, рис. 2) в почве элювиальной позиции изменялось от 3 до 10 мг/кг, в почве трансэлювиальной – от 8 до 20 мг/кг, в почве супераквальной – от 8 до 12 мг/кг.

Уран в почвах элювиальной позиции сконцентрирован преимущественно в кислоторастворимой (связанной с полуторными оксидами) – от 1,48 до 4,93 мг/кг и остаточной (от 0,51 до 3,00 мг/кг) формах. В почвах трансэлювиальной позиции: подвижной (связанной с водорастворимыми карбонатами) – от 1,1 до 5,21 мг/кг, восстанавливаемой (связанной с глинистыми минералами) – от 0,52 до 14,04 мг/кг и остаточной – от 0,90 до 7,93 мг/кг формах. В почвах супераквальной позиции: восстанавливаемой (связанно с глинистыми минералами) – от 0,51 до 4,07 мг/кг

Таблица 2

Формы нахождения урана в пробах почв элювиальной позиции, мг/кг

№	Глубина отобранной пробы почвы, см	Формы нахождения урана						Сумма
		Обменная	Подвижная	Восстанавливаемая	Окисляемая	Кислоторастворимая	Остаточная	
1	1,5	0,14 ± 0,03	0,12 ± 0,01	0,46 ± 0,08	0,27 ± 0,06	1,69 ± 0,08	1,76 ± 0,11	4,45
2	3	0,19 ± 0,06	0,14 ± 0,05	1,06 ± 0,06	0,13 ± 0,06	1,29 ± 0,11	0,51 ± 0,05	3,33
3	5	0,35 ± 0,08	0,22 ± 0,08	0,53 ± 0,15	0,12 ± 0,01	1,46 ± 0,07	1,42 ± 0,05	4,10
4	7	0,30 ± 0,17	0,22 ± 0,08	1,31 ± 0,11	0,12 ± 0,03	1,68 ± 0,08	1,63 ± 0,06	5,26
5	12	0,29 ± 0,05	0,11 ± 0,03	1,57 ± 0,12	0,13 ± 0,03	2,71 ± 0,03	2,62 ± 0,19	7,44
6	17	0,36 ± 0,09	0,16 ± 0,05	1,61 ± 0,08	0,23 ± 0,07	1,85 ± 0,07	3,63 ± 0,19	7,85
7	22	0,13 ± 0,03	0,22 ± 0,09	1,52 ± 0,09	0,62 ± 0,09	1,93 ± 0,04	1,77 ± 0,25	6,20
8	27	0,27 ± 0,09	0,28 ± 0,08	1,43 ± 0,07	0,59 ± 0,13	4,93 ± 0,07	2,55 ± 0,27	10,05
9	33	0,24 ± 0,10	0,35 ± 0,08	1,43 ± 0,08	0,28 ± 0,14	1,96 ± 0,05	3,00 ± 0,08	7,26
10	39	0,27 ± 0,11	0,29 ± 0,09	1,17 ± 0,73	0,14 ± 0,07	3,23 ± 0,10	2,93 ± 0,10	8,02
11	45	0,19 ± 0,08	0,23 ± 0,08	1,23 ± 0,06	0,24 ± 0,07	3,44 ± 0,09	3,33 ± 0,10	8,66
12	50	0,17 ± 0,08	0,68 ± 0,08	1,19 ± 0,07	0,13 ± 0,02	2,29 ± 0,05	3,97 ± 0,14	8,44
13	55	0,23 ± 0,07	0,50 ± 0,15	1,23 ± 0,07	0,13 ± 0,06	1,48 ± 0,07	1,78 ± 0,07	5,35
14	64	0,48 ± 0,07	0,39 ± 0,06	1,19 ± 0,08	0,39 ± 0,07	2,39 ± 0,13	2,66 ± 0,20	7,52
15	77	0,55 ± 0,08	0,28 ± 0,01	1,19 ± 0,08	0,52 ± 0,10	3,05 ± 0,18	2,41 ± 0,13	7,99

Таблица 3

Формы нахождения урана в пробах почв трансэлювиальной позиции оз. Синара, мг/кг

№	Глубина отобранной пробы почвы, см	Формы нахождения урана						Сумма
		Обменная	Подвижная	Восстанавливаемая	Окисляемая	Кислоторастворимая	Остаточная	
1	2	—	0,96 ± 0,24	2,45 ± 0,49	1,34 ± 0,40	1,68 ± 0,31	2,17 ± 0,54	8,60
2	4	0,80 ± 0,16	1,23 ± 0,29	2,36 ± 0,53	0,52 ± 0,22	2,80 ± 0,64	1,96 ± 0,61	9,67
3	7	—	1,12 ± 0,32	14,04 ± 3,65	0,63 ± 0,15	0,66 ± 0,13	3,20 ± 0,67	19,65
4	11	—	4,77 ± 1,12	6,90 ± 1,38	1,18 ± 0,27	0,68 ± 0,15	0,90 ± 0,21	14,43
5	15	0,50 ± 0,11	2,50 ± 1,18	6,77 ± 0,67	0,85 ± 0,17	1,69 ± 0,34	2,96 ± 0,62	15,27
6	19	—	5,31 ± 1,16	6,39 ± 1,91	1,26 ± 0,39	1,28 ± 0,24	2,87 ± 0,66	17,11
7	22	—	4,88 ± 1,26	5,12 ± 1,05	1,25 ± 0,26	2,98 ± 0,65	2,23 ± 0,53	16,46
8	26	—	3,31 ± 0,99	10,64 ± 1,59	1,04 ± 0,28	2,36 ± 0,41	3,33 ± 0,76	20,68
9	30	—	2,01 ± 0,38	5,44 ± 1,41	1,77 ± 0,32	1,07 ± 0,33	7,93 ± 1,51	18,22
10	33	0,58 ± 0,10	3,80 ± 0,87	2,33 ± 0,48	0,82 ± 0,17	1,28 ± 0,28	2,47 ± 0,54	11,28
11	43	—	5,15 ± 1,04	2,90 ± 0,61	0,83 ± 0,18	0,66 ± 0,14	3,69 ± 0,78	13,23
12	53	—	6,68 ± 0,77	1,39 ± 0,43	1,02 ± 0,31	1,09 ± 0,23	4,33 ± 0,91	14,51
13	63	—	5,68 ± 1,14	0,52 ± 0,21	1,85 ± 0,47	1,52 ± 0,36	4,47 ± 1,02	14,04
14	73	—	1,10 ± 0,22	0,60 ± 0,12	1,18 ± 0,28	1,44 ± 0,37	5,22 ± 1,25	9,54

и остаточной — 3,29 мг/кг — 7,98 мг/кг. Содержание урана на фоновом участке составляет 0,2 мг/кг.

Экстракционный критерий, характеризующий антропогенную компоненту (рис. 2) и включающий обменную, подвижную, восстанавливаемую, окисляемую и кислоторастворимую формы урана, находится в диапазоне для элювиальных почв от 2,7 до 7,5 мг/кг (53–75 %), для почв трансэлювиальной позиции — от 4,3 до 17,4 мг/кг (45–93 %), для почв суперэлювиальной позиции — от 3,24 до 12,47 мг/кг (40–65 %).

Сумма обменной и подвижной формы, связанной с водорастворимыми карбонатами для почв элювиальной позиции — от 0,26 до 0,85 мг/кг (4,7–13,9 %), почв трансэлювиальной позиции — от 1,1 до 6,7 мг/кг

(5,7–46 %), суперэлювиальной позиции — от 0,8 до 8,1 мг/кг (6,8–40,5 %).

Содержание потенциально подвижной формы (рис. 3), (суммы обменной, подвижной, восстанавливаемой и окисляемой форм) для почв элювиальной позиции находится в диапазоне от 1,00 до 2,53 мг/кг, трансэлювиальной — от 2,88 до 14,99 мг/кг и суперэлювиальной позиции от 2,30 до 9,19 мг/кг. Доля потенциально подвижной формы в структуре экстракционного критерия (рис. 4) для почв элювиальной позиции составляет от 35 до 56 %, трансэлювиальной — от 66 до 96 % и суперэлювиальной от 36 до 87 %.

Уран сконцентрирован на глубине 20–25 см преимущественно в форме, связанной с полуторными

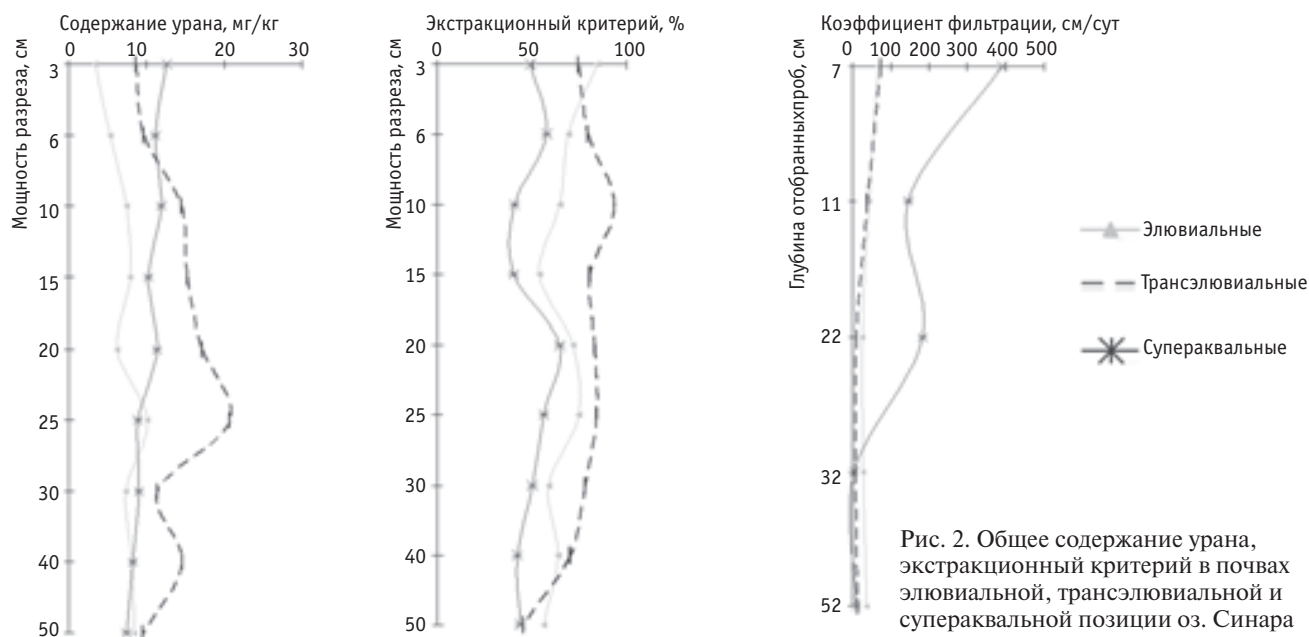


Рис. 2. Общее содержание урана, экстракционный критерий в почвах элювиальной, трансэлювиальной и суперэлювиальной позиции оз. Синара

Таблица 4

Формы нахождения урана в пробах почв супераквальной позиции оз. Синара, мг/кг

№	Глубина отобранной пробы почвы, см	Формы нахождения урана						Сумма
		Обменная	Подвижная	Восстанавливаемая	Окисляемая	Кислоторастворимая	Остаточная	
1	2	0,62 ± 0,15	0,26 ± 0,05	3,78 ± 0,28	0,64 ± 0,11	0,85 ± 0,09	6,37 ± 0,13	12,52
2	6	0,51 ± 0,08	0,29 ± 0,04	4,07 ± 0,86	0,39 ± 0,04	1,11 ± 0,27	4,66 ± 0,11	11,05
3	10	0,55 ± 0,10	0,25 ± 0,01	1,21 ± 0,20	0,29 ± 0,03	2,55 ± 0,46	6,99 ± 0,11	11,85
4	16	0,74 ± 0,13	0,23 ± 0,03	1,47 ± 0,17	0,29 ± 0,05	1,35 ± 0,06	6,13 ± 0,55	10,23
5	20	0,88 ± 0,16	0,26 ± 0,04	3,43 ± 0,25	0,32 ± 0,04	0,94 ± 0,08	7,29 ± 0,89	13,13
6	23	0,65 ± 0,04	0,32 ± 0,11	3,84 ± 0,16	0,31 ± 0,05	2,22 ± 0,09	3,98 ± 0,09	11,33
7	25	0,72 ± 0,17	0,34 ± 0,04	3,19 ± 0,12	0,68 ± 0,09	0,92 ± 0,15	3,29 ± 0,05	9,14
8	31	0,55 ± 0,09	0,41 ± 0,10	1,78 ± 0,39	0,48 ± 0,09	1,76 ± 0,15	3,91 ± 0,09	8,89
9	37	0,69 ± 0,07	0,37 ± 0,05	1,40 ± 0,11	0,58 ± 0,08	1,43 ± 0,08	4,47 ± 0,09	8,96
10	43	1,21 ± 0,21	0,32 ± 0,07	1,56 ± 0,39	0,55 ± 0,09	0,64 ± 0,08	5,17 ± 0,08	9,45
11	54	1,32 ± 0,36	0,32 ± 0,05	0,74 ± 0,18	0,63 ± 0,07	0,46 ± 0,05	4,74 ± 0,09	8,22
12	65	1,16 ± 0,29	0,27 ± 0,03	0,51 ± 0,13	0,69 ± 0,12	0,60 ± 0,07	4,16 ± 0,09	7,40
13	73	7,80 ± 0,48	0,26 ± 0,04	0,51 ± 0,06	0,62 ± 0,06	3,28 ± 0,07	7,43 ± 0,14	19,90
14	81	1,08 ± 0,18	0,29 ± 0,04	0,59 ± 0,09	0,79 ± 0,12	4,974 ± 0,09	7,98 ± 0,06	15,70

ми оксидами и минеральной компонентой почвы. Потенциально-подвижная форма в структуре экстракционного критерия имеет пик содержания урана на глубине 8–12 см и обусловлена преимущественно формами урана, связанными с водорастворимыми карбонатами и глинистыми минералами.

Экстракционный критерий, характеризующий антропогенную компоненту, от 45 до 93 % в почвах трансэлювиальной позиции. Данные результаты могут быть связаны с перераспределением потенциально-подвижной формы урана из главных форм рельефа (почв элювиальной позиции) в подчиненные (почвы трансэлювиальной и супераквальной позиции). Выход на передний план экстракционно-

го критерия почв элювиальной позиции свидетельствует скорее о сравнительно небольшом содержании остаточной формы урана. Это может быть связано, как отмечают некоторые авторы, с проникновением подвижной формы урана в кристаллическую решетку минералов и формированием за счет этого остаточной формы урана [18, 19].

Совокупность результатов проведенных анализов образцов почвы позволяет охарактеризовать исследуемую депонирующую среду с точки зрения вымывания урана из почвы грунтовыми водами и показывает, что содержание данного элемента превышало 0,3 мг/кг (допустимый уровень вмешательства по содержанию урана в питьевой воде).



Рис. 3. Содержание суммы фракций, подверженных миграции в почвах с учетом ландшафтных особенностей территории элювиальной, трансэлювиальной и супераквальной позиции

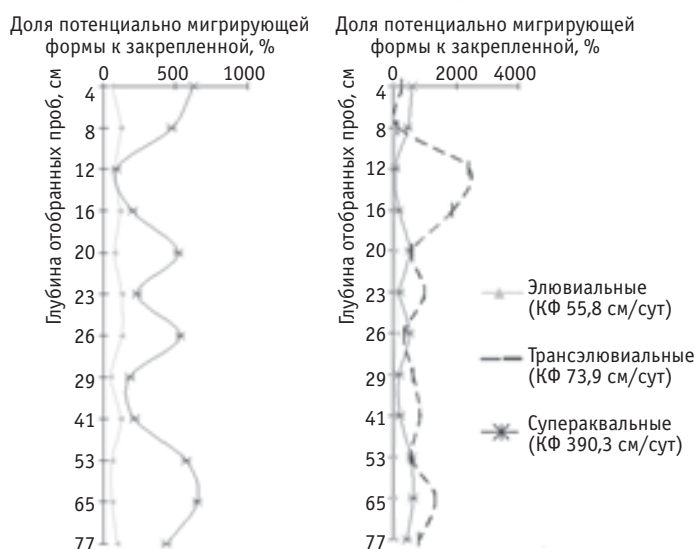


Рис. 4. Содержание доли потенциально мигрирующей антропогенной компоненты к закрепленной антропогенной компоненте (в структуре экстракционного критерия)

Выводы

1. В исследуемых почвах уран обладает сильной миграционной способностью, а элементы, влияющие на способность почв фиксировать его (железо и марганец), находятся в переходных степенях окисления.

2. Исследуемые почвы имеют легкий гранулометрический состав и плохо задерживают поллютанты, преобладающей фракцией в исследуемых почвах является мелкий песок (0,25–0,05 мм). Показатели коэффициента фильтрации характеризуются как высокие и исключительно высокие.

3. Содержание урана достигает 20 мг/кг, что до 100 раз превышает содержание урана фонового участка. Экстракционный критерий, характеризующий антропогенную компоненту исследуемых почв, находится в диапазоне от 45 до 93 %.

6. Уран, сконцентрированный преимущественно в почвах трансэлювиальной позиции, связан с водорастворимыми карбонатами и глинистыми минералами. В почвах супераквальной и элювиальной позиции он находится в стабильных и слабоподверженных миграции кислоторастворимой (связанной с полуторными оксидами) и остаточной формах.

5. Максимальное содержание урана наблюдается на глубине 20–25 см преимущественно в форме, связанной с полуторными оксидами и минеральной компонентой почвы. Потенциально-подвижная форма в структуре экстракционного критерия имеет пик содержания на глубине 8–12 см и обусловлена преимущественно формами урана, связанными с водорастворимыми карбонатами и глинистыми минералами. Доля потенциально подвижной формы от общего содержания урана доходит до 89 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полюдин А.Л., Файзрахманов Ф.Ф. Исследование концентрации радионуклидов в воздушной среде опытных полей при газодинамических исследованиях // В сб.: «Промышленная безопасность и экология». Саров. 2010. С. 3–8. Разрешение 2115.
2. СанПиН 2.6.1.07-03. Гигиенические требования к проектированию предприятий и установок атомной промышленности. М.: Атомиздат. 2003. С. 32
3. Безуглая Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеиздат. 1980. 183 с.
4. Малашенко А.В. Рак легкого у шахтеров урановых рудников осадочного месторождения // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2007. Т. 50. № 6. С. 10–12.
5. Евсеева Л.С. Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.: Гос. изд-во литературы в области науки и техники. 1962. 239 с.
6. Андреева О.С., Бадьин В.Н., Корнилов А.Н. Природный и обогащенный уран. Радиационно-гигиенические аспекты. М.: Атомиздат. 1979. 216 с.
7. Виноградов А.П. Основные черты геохимии урана. М.: АН СССР. 1963. 352 с.
8. Мамонтов В.Г., Панов Н.П., Кауричев И.С. Общее почвоведение. М.: КолосС. 2006. 456 с.
9. Козаченко В.П. Обоснование приемов рационального использования, обработки и мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Челябинской области. Челябинск: ЧелГУ. 1999. 134 с.
10. Протасов Н.А. Геохимия природных ландшафтов. Воронеж. Полиграф. центр Воронежского гос. ун-та. 2008. 36 с.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.
12. Вадюнина А.Ф., Корчагина В.А. Методы определения физических свойств и грунтов. М.: Высшая школа. 1961. 345 с.
13. Синявский В.А. Физические, физико-химические и химические методы анализа в экологии почв. Челябинск: ЧелГУ. 2004. 36 с.
14. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации. Доклад научного комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной ассамблеи за 1988 г. НКДАР ООН. М.: Мир. 1993. 728 с.
15. Уралбеков Б.М., Сатыбалдиев Б.С., Назаркулова Ш.Н. Уран и радий в минеральных составляющих почв месторождения Курдай // В сб.: «Материалы международной конференции по аналитической химии и экологии». Алматы: КазНУ. 2010. С. 86–93.
16. Tessier A. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Analit. Chem. 1979. Vol. 51. P. 844–851.
17. Марей Н.А., Зыкова А.С. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. М.: Вторая типография. 1980. 336 с.
18. Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: миграция и биологическое действие на популяции и биоценозы. М.: Наука. 1990. 368 с.
19. Ковалевский А.Л. О физиологических барьерах поглощения у растений по отношению к большим концентрациям урана в питательной среде // В сб.: «Теоретические и практическое действие малых доз ионизирующей радиации». Сыктывкар. 1973. С. 92–94.

Поступила: 18.05.2015

Принята к публикации: 14.12.2015

Н.А. Метляева, О.В. Щербатых**ОСОБЕННОСТИ СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ УЧАСТНИКОВ, ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДКАХ К-19 И К-27, ПО ДАННЫМ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ****N.A. Metlyaeva, O.V. Scherbatic****Features of Social Adaptation of Participants of the Accident on the Nuclear Submarines K-19 and K-27 According to Psychophysiological Inspection**

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Цель: Оценка личности и актуального психического состояния трех участников аварии на атомной подводной лодке К-19 (Ф.Ю.П.) и К-27 (Р.А.С. и Ф.А.М.) по данным психофизиологического обследования.

Материал и методы: Представлены результаты психофизиологического обследования трех участников аварии на атомной подводной лодке К-19 в 04.07.61 г. и К-27 в 24.05.68 г., в результате которой оператор реактора лейтенант Ф.Ю.П. в возрасте 23 лет перенес ОЛБ I ст. тяжести (доза $1,14 \pm 0,10$ Гр), старшина Р.А.С. в возрасте 23 лет перенес ОЛБ III ст. тяжести (доза $3,6-4,0$ Гр), дозиметрист Ф.А.М. в возрасте 22 лет – ОЛБ II ст. тяжести (доза $1,12 \pm 0,05$ Гр) от сочетанного гамма-бета-излучения. Три пациента прошли клинико-психофизиологическое обследование в 2002–2014 гг., в возрасте 64, 57 и 56 лет соответственно. Из психосоматической патологии у троих диагностируется гипертоническая болезнь II ст. с более высокими цифрами артериальной гипертензии у Ф.А.М. (АД = 150/90, 140/100 и 200/100 мм рт. ст. соответственно). ИБС, стенокардия напряжения, функциональный класс (ФК) II–III – у Р.А.С. и ФК II – у Ф.А.М. Сахарный диабет 2 типа, инсулинозависимая форма, декомпенсация – у Ф.Ю.П., хронический бронхит, пневмосклероз – у Ф.А.М.

Результаты: Подъем показателей профиля ММПИ выше 80 Т-баллов по шкалам 1, 2, 6, 8 и F как неврологической, так и психологической триады, указывает на перенапряжение психической адаптации у трех участников радиационной аварии. Основным общим стрессовым фактором перенапряжения психофизиологической адаптации явилось затянувшееся решение социального вопроса о признании пострадавших инвалидами по совокупности заболеваний, связанных с непосредственным участием в действии подразделения особого риска (Ф.А.М. через 27 лет, Р.А.С. – 37 лет, Ф.Ю.П. – 38 лет после радиационной аварии). Положительное решение в суде вопроса по индексации пенсии Ф.А.М. привело к значительной положительной динамике психологических данных в виде постепенного снижения уровня показателей, характеризующих выраженность аффективной ригидности, мнительности и неуверенности в себе, оригинальности мышления (шкалы 6, 7, 8 соответственно), уровня тревожности (шкалы 2, 9, F, 0), с сохранением значительной выраженности ипохондрических тенденций, ухудшение которых обусловлено длительным судебным процессом (в течение 6 лет). Трудовая деятельность Р.А.С. явилась наиболее благоприятным условием для реализации его потребностей, и адаптация его оказалась полноценной, он смог стать весьма полезным членом общества.

Выводы: Больной Р.А.С. перенес ОЛБ более тяжелой степени (ОЛБ III), чем Ф.А.М. и Ф.Ю.П. Несмотря на это, установка и мотивация на трудовую деятельность позволили ему прожить активную трудовую жизнь, иметь меньшую степень снижения эффективности социальной адаптации и менее выраженную психосоматическую патологию.

Ключевые слова: подводные лодки, радиационные аварии, острая лучевая болезнь, социальная адаптация, гипертоническая болезнь, ишемическая болезнь сердца

Purpose: To evaluate the personal and current mental status of three participants of the accident on the nuclear submarine K-19 (F.U.P.) and K-27 (R.A.S. and F.A.M.) according to psychophysiological examination.

Material and methods: The results are shown of the psychophysiological examination of three participants of the accident on the nuclear submarine K-19 in 1961 (04.07.61) and K-27 in 1968 (24.05.68), where the operator of a reactor lieutenant F.U.P. at the age of 23 (year of birth: 1938) had the ARS of the first degree of severity (dose on EPR tooth enamel 1.14 ± 0.10 Gy), sergeant R.A.S. at the age of 23 (year of birth: 1945) had the ARS of the third degree of severity (dose on EPR tooth enamel $3.6-4.0$ Gy), a dosimetrist F.A.M. at the age of 22 (year of birth: 1946) had the ARS of the second degree of severity (dose on EPR tooth enamel 1.12 ± 0.05 Gy) from the combined gamma-beta radiation. Three patients underwent clinical and psychophysiological examination in 2002–2014 at the age of 57 and 56. All three patients were diagnosed with psychosomatic pathology hypertension of the second degree, while F.A.M. had a higher indices of hypertension (BP = 150/90, 140/100 and 200/100 mm Hg). R.A.S. had coronary heart disease, stenocardia, FC II–II and F.A.M. had FC II F.U.P. had diabetes mellitus type 2, insulin dependent form, decompensation, F.A.M. had chronic bronchitis, pneumosclerosis.

Results: The rise of the indicators of MMPI profile above 80 T-points on the scale of 1, 2, 6, 8 and F of both neurological and psychological triad, indicates the mental stress adaptation in three participants of the accident. Major general stress factor of psychophysiological adaptation was caused by protracting the acknowledgement of the victims to be the disable people due to the diseases, connected with the direct participation in the action of the special risk subunit (F.A.M. was recognized after 27 years, R.A.C. after 37 years, F.U.P. 38 years after radiation accident). A positive solution on the issue of indexation of the pension to F.A.M. in the court resulted in a significant positive dynamics of psychological data in a gradual reduction of the indices, characterizing the severity of affective rigidity, fear and self-doubt, original thinking (scale: 6, 7, 8 respectively), the level of anxiety (scale: 2, 9, F, 0), with the maintenance of considerable severity of hypochondriac tendencies, the deterioration of which was due to the long judicial process (during 6 years). Labor activity of R.A.S. was the most favorable condition for the realization of his needs, and his adaptation was full, he could become a very useful member of society.

Conclusions: Patient P.A.S. had ARS of more severe degree (ARS III) than F.A.M. and F.U.P. Despite this fact, the setting and the motivation to work has allowed him to live an active lifestyle, to have a lesser degree of reduction of efficiency of the social adaptation and a less pronounced psychosomatic pathology.

Key words: submarines, radiation accidents, acute radiation disease, social adaptation, hypertensive disease, ischemic heart disease

Введение

Любая деятельность предъявляет определенные требования к адаптационным ресурсам, причем эти требования обращены преимущественно, а нередко и исключительно, именно к механизмам психической адаптации. Эффективная психическая адаптация представляет собой одну из существенных предпосылок профессиональной пригодности [1–7].

Целью работы является оценка личности и актуального психического состояния трех участников аварии на атомной подводной лодке К-19 (Ф.Ю.П.) и К-27 (Р.А.С. и Ф.А.М.) по данным психофизиологического обследования.

Материал и методы

Представлены результаты психофизиологического обследования трех участников аварии на атомной подводной лодке К-19 в 1961 г. (04.07.1961) и К-27 в 1968 г. (24.05.1968), в результате которой оператор реактора лейтенант Ф.Ю.П. в возрасте 23 лет (1938 г.р.) перенес ОЛБ I степени тяжести (доза по ЭПР эмали зуба $1,14 \pm 0,10$ Гр), старшина Р.А.С. в возрасте 23 лет (1945 г.р.) перенес ОЛБ III степени тяжести (доза по ЭПР эмали зуба $3,60\text{--}4,0$ Гр), дозиметрист Ф.А.М. в возрасте 22 лет (1946 г.р.) — ОЛБ II степени тяжести (доза по ЭПР эмали зуба $1,12 \pm 0,05$ Гр) от сочетанного гамма-бета-излучения. Три пациента прошли клинко-психофизиологическое обследование в Клинике Института биофизики на базе Клинической больницы № 6, с 2008 г. — в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России с 2002 по 2005 гг. (Ф.Ю.П. и Р.А.С.) и с 2002 по 2014 г. — Ф.А.М., в возрасте 64, 57 и 56 лет соответственно. Из психосоматической патологии у троих диагностируется гипертоническая болезнь II степени с более высокими цифрами артериальной гипертензии у Ф.А.М. (АД 150/90, 140/100 и 200/100 мм рт. ст. соответственно). ИБС, стенокардия напряжения, функциональный класс (ФК) II—III — у Р.А.С. и ФК II — у Ф.А.М. Сахарный диабет 2 типа, инсулинозависимая форма, декомпенсация — у Ф.Ю.П., хронический бронхит, пневмосклероз — у Ф.А.М. Распространенный выраженный атеросклероз сосудов головного мозга, сердца и нижних конечностей — у троих. Из анамнеза известно, что социально-психологический статус после аварии у них сложился по-разному.

Ф.Ю.П. через три месяца после лечения в госпитале ВМФ (06.07—03.10.1961 г.) признан негодным к службе в плавсоставе ВМФ и переведен по 1965 г. на строевую службу на берегу (г. Кронштадт). С 1965 г. работает в РНЦ «Курчатовский институт» по настоящее время в должности последовательно инженера, младшего и старшего научного сотрудника. С 2009 г. инвалид II группы по совокупности заболеваний, связанных с непосредственным участием в действии подразделения особого риска. Не женат, детей нет.

Р.А.С. через восемь месяцев после лечения в госпитале ВМФ остался на военной службе: сначала техником в военно-морской части, а затем в качестве радиоэлектронщика в ВМА им. С.М. Кирова. Общий срок службы в армии у него 32 года, без инвалидности.

Работу оставил в связи с уходом на пенсию по возрасту (1995 г.). Инвалидность III группы Р.А.С. получил только в 2003 г., т.е. через 35 лет после аварии, инвалидность II группы — в 2005 г., после обследования в клинике, по совокупности заболеваний, связанных с непосредственным участием в действии подразделения особого риска. Женат (1972 г., имеет дочь 1976 г.р.).

Ф.А.М. после выписки из госпиталя ВМФ имел инвалидность II группы, затем III группы, которая была снята после окончания института (1970—1974 гг.) как у специалиста инженера-электронщика. До 1995 г. Ф.А.М. работал по специальности. С 1995 г. (в 48 лет) признан инвалидом II группы по совокупности заболеваний, связанных с непосредственным участием в действии подразделения особого риска. В течение шести лет судился за компенсацию пенсии, выиграл процесс в 2012 г. Ф.А.М. женат, имеет 2 детей (1976 и 1983 г.р.).

Задачами психофизиологического обследования являлись:

- 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 (РДО).

Результаты и обсуждение

По данным сравнительной оценки психофизиологического обследования с использованием теста ММРІ (2003—2005 гг.) можно отметить (рис. 1), что у троих подъем показателей профиля ММРІ выше 80 Т-баллов по шкалам 1, 2, 6, 8 и F как неврологической, так и психологической триады, который указывает на выраженное нарушение психической адаптации у Ф.Ю.П., Р.А.С. и Ф.А.М. соответственно. Сочетание пика на шестой шкале с пиком на первой определяет беспокойство за состояние физического здоровья, которое развивается на базе аффективной ригидности. При этом число неприятных физических ощущений может быть относительно невелико, но значимость соматических ощущений и их влияние на поведение весьма высоки. Сочетание пика профиля на шкалах 6, 2 и F отражает выраженную дисгармоничность, поскольку выявляет одновременное существование субдепрессивных тенденций и аффективной ригидности. Ипохондрические (1-Hs), тревожные (2-D) тенденции и сильно выраженная аффективная ригидность (6-Pa) затрудняют формирование адекватной стратегии деятельности. Выявляется склонность к длительному неугасанию неотрагированных эмоций, их идеаторной переработке и построению на этой основе ригидных, трудно коррегируемых концепций, которые могут приобретать сверхценное значение (8-Sc), обусловленное, в большей степени, ощущением своей неповторимости, борьбой за правду и справедливость, социальность и общественную полезность.

В результате исследований можно отметить, что личностная установка и мотивация на социально-пси-

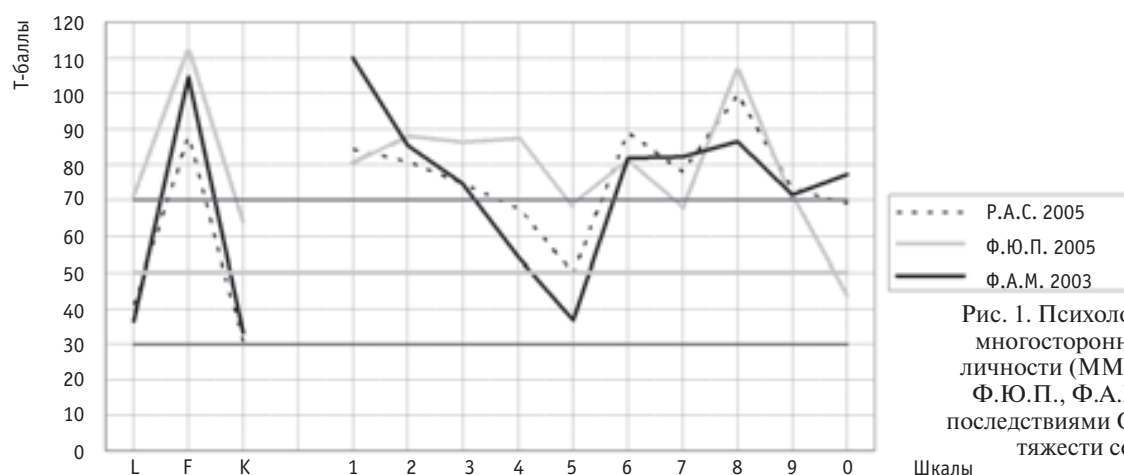


Рис. 1. Психологический профиль многостороннего исследования личности (MMPI) больных Р.А.С., Ф.Ю.П., Ф.А.М. с отдаленными последствиями ОЛБ III, I, II степени тяжести соответственно

хологическую адаптацию у Р.А.С., Ф.А.М. и Ф.Ю.П. оказались разными. Так, Р.А.С., несмотря на то, что он перенес ОЛБ III степени, по совету военного врача, полковника медицинской службы С.И. Титкова, после болезни вернулся к своей работе, продолжил военную службу. Кроме того, оптимизм и надежду на выздоровление вселила ему встреча с проф. А.К. Гуськовой, которая привела пример и показала ему фотографию девушки, перенесшей ОЛБ тяжелой степени. Сам Р.А.С. считает, что большую роль сыграла дисциплина трудовой деятельности, интерес к работе, преодоление трудностей, забота не только о себе, но и о других, грамотная оценка риска для здоровья, рациональное планирование жизни. Р.А.С. считает правильным, что после болезни вернулся к своей работе, к близким по духу людям. Таким образом, хотя у больного Р.А.С. была тяжелая форма ОЛБ III степени, но его личностная установка и мотивация, а также корректная квалифицированная поддержка военного врача, позволили этому пациенту вернуться к активной трудовой деятельности через восемь месяцев после облечения и продолжать военную службу еще 32 года. После ухода на пенсию по возрасту (1995 г.), его тяготило отсутствие работы, он не мог найти применение своим силам, сказались необустроенность быта: отсутствие жилья, отсутствие работы, отсутствие инвалидности, несмотря на значительное ухудшение здоровья. Наряду со значительной обеспокоенностью за состояние здоровья, тревогой, выраженными ипохондрическими тенденциями (шкалы 1, 2, 7) в 2002 г., с 2003 г. начинает нарастать в динамике высота показателей на шкалах 6, 7, 8, указывающих на перенапряжение психической адаптации (рис. 2). Инвалидность III группы Р.А.С. получил только в 2003 г., т.е. через 35 лет после аварии, инвалидность II группы — в 2005 г., после обследования в клинике по совокупности заболеваний, связанных с непосредственным участием в действии подразделения особого риска. При этом Р.А.С. счел, что трудовая деятельность явилась наиболее благоприятным условием для реализации его потребностей, и адаптация его оказалась полноценной, он смог стать весьма полезным членом общества.

По данным психофизиологического исследования с использованием теста MMPI (рис. 3), можно отметить,

что профиль личности у Ф.А.М. имел тревожно-депрессивный тип, обусловленный в большей степени ощущением своей osobosti, неповторимости и тревогой по поводу недостаточного признания со стороны окружающих (высокий подъем шкал 1, 2, 3, 6, 7, 8, 0, резкое снижение шкалы 9 и плато шкал 6–7 и 7–8). По данным профиля Ф.А.М. очевидно, что невротических механизмов ему недостаточно для того, чтобы убрать тревогу и напряжение (шкалы 1, 2, 3), и он привлекает уже психотические механизмы с резко приподнятой шкалой 6, 7, 8. Ф.А.М. пытается объяснить свое состояние необычностью того, что происходило с ним. Наличия тревоги, депрессивных и психастенических черт недостаточно для того, чтобы оптимизировать состояние полностью. Не хватает активности для общения, круг которого ограничен (шкала 0). Значительно озабочен состоянием своего здоровья (шкала 1). Вытеснение слабое (шкала 3), его не хватает, чтобы оптимизировать состояние и как-то минимизировать тревогу. Ф.М.С. — типичная тревожно-депрессивная личность. У него выраженная склонность привлекать внимание к болезненным симптомам, проблемам. Повышенный уровень внутренней напряженности соответствует тяжести состояния (шкала F). Однако после положительного решения в суде вопроса по индексации пенсии (2012 г.), выявляется к 2014 г. значительная положительная динамика с постепенной нормализацией психологических показателей в виде постепенного снижения уровня показателей, характеризующих выраженность аффективной ригидности, мнительности и неуверенности в себе, оригинальности мышления (шкалы 6, 7, 8 соответственно), уровня тревожности (шкалы 2, 9, F, 0), с сохранением значительной выраженности ипохондрических тенденций (шкала 1).

По данным оценки профиля личности Ф.Ю.П. (рис. 1), можно отметить, что профиль личности у Ф.Ю.П. имеет, кроме указанных выше общих для всех троих особенностей, еще и более выраженное сочетание пиков на второй и четвертой шкалах, указывающее на более выраженное затруднение социальной адаптации и отражающее тенденцию к тревоге, связанной с неспособностью Ф.Ю.П. строить свое поведение в соответствии с принятыми нормами социальной закон-

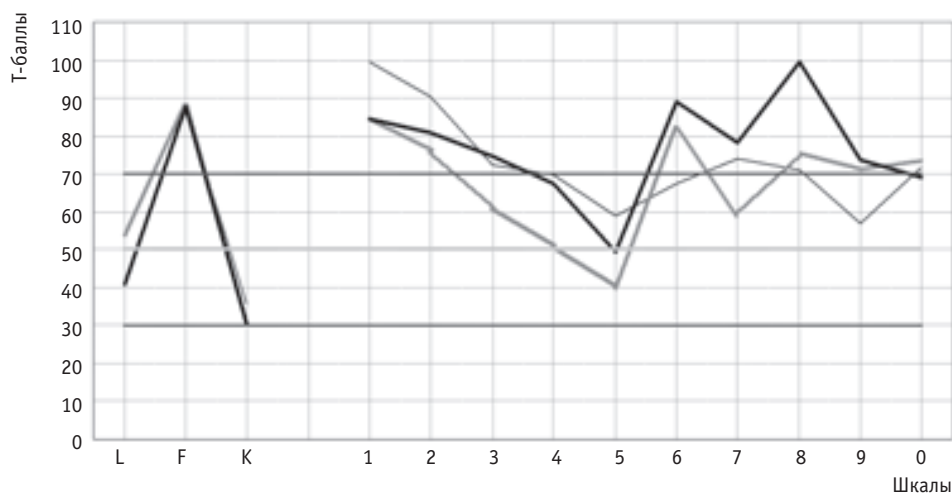


Рис. 2. Психологический профиль многостороннего исследования личности (ММРІ) больного Р.А.С. с отдаленными последствиями острой лучевой болезни III степени тяжести за 2002–2005 гг.

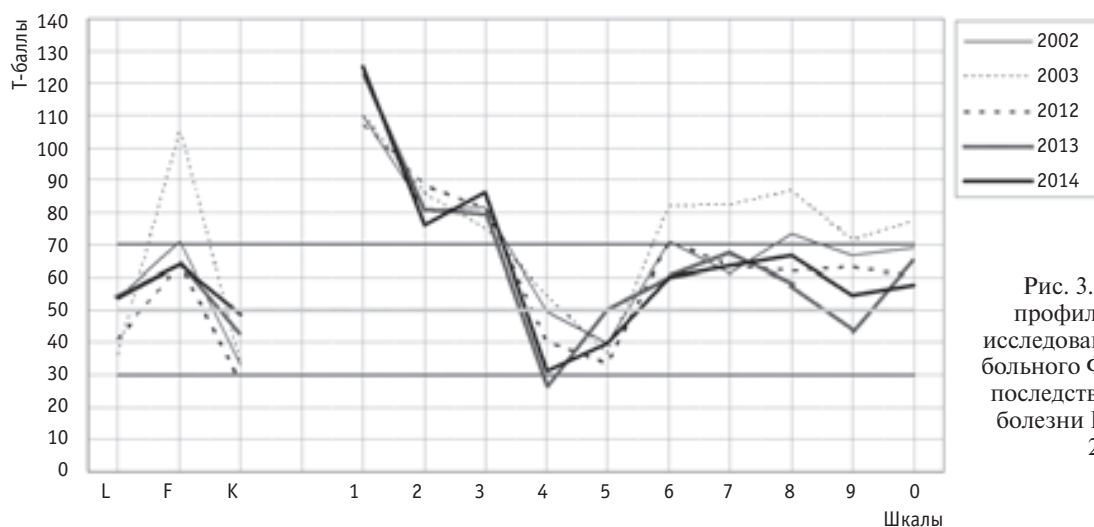


Рис. 3. Психологический профиль многостороннего исследования личности (ММРІ) больного Ф.А.М. с отдаленными последствиями острой лучевой болезни II степени тяжести за 2002–2014 гг.

ности и правилами поведения. Снижение профиля на пятой шкале с подъемом на четвертой, особенно значимо выраженное у Ф.Ю.П., отражает подчеркнутую демонстрацию силы и независимости при отсутствии уважения к общепринятым нормам. Сочетание пиков на четвертой, шестой и восьмой шкалах указывает на то, что все трое представили эти показатели как борьбу, связанную с социально полезным действием за правду и справедливость, за право быть инвалидом по совокупности заболеваний, связанных с непосредственным участием в действии подразделения особого риска, за право на индексацию пенсии, за право на доступное лечение в учреждениях, оказывающих помощь пострадавшим в радиационных авариях и инцидентах.

По данным оценки характерологической особенности личности (тест Кеттелла) можно отметить (рис. 4), что интеллект у Р.А.С. и Ф.Ю.П. выше среднего (фактор В = 7,0–8,0 стенов соответственно), хорошо развиты абстрактно-логические способности (тест Равена). У Ф.А.М. — интеллектуальный контроль поведения низкий, абстрактно-логические способности невысокие (фактор В = 4 стенов). У троих эмоционально-личностная сфера дезорганизована и трудно регулируема, отмечается избегание стрессовых и критических ситуаций,

требующих уверенности в себе. Социальное поведение неустойчиво: легко вступают в споры и конфликтные ситуации, но при этом не хватает достаточного терпения для проведения «своей линии». В быту, в семейной ситуации, как правило, испытывают неудовлетворенность, раздражение текущими делами, ситуациями, опасаются за свое здоровье (фактор С = 2,0, 3,0, 2,0 стенов соответственно). Социально обязательны, имеют интеллектуальный подход к оценке ситуации, воспитанные формы поведения (фактор N = 9,0, 7,0, 9,0 стенов соответственно), практичны (фактор М = 4,0 стенов). Эффективны в ситуациях, связанных с ответственностью и социальным значением (фактор Q3 = 7,0, 8,0, 9,0). Имеют высокую фрустрационную напряженность (фактор Q4 = 8,0, 8,0, 6,0) и тревожность, которые нарушают продуктивность и приводят к соматическим расстройствам (фактор F1 = 7,7, 6,2, 6,6).

При сравнительной оценке операторской работоспособности Р.А.С. с усредненными показателями контрольной группы (оперативный персонал АЭС), сенсомоторных реакций в виде простой сенсомоторной реакции (ПСМР), сложной сенсомоторной реакции (ССМР) и реакции на движущийся объект (РДО), можно отметить, что время выполнения ПСМР Р.А.С. состав-

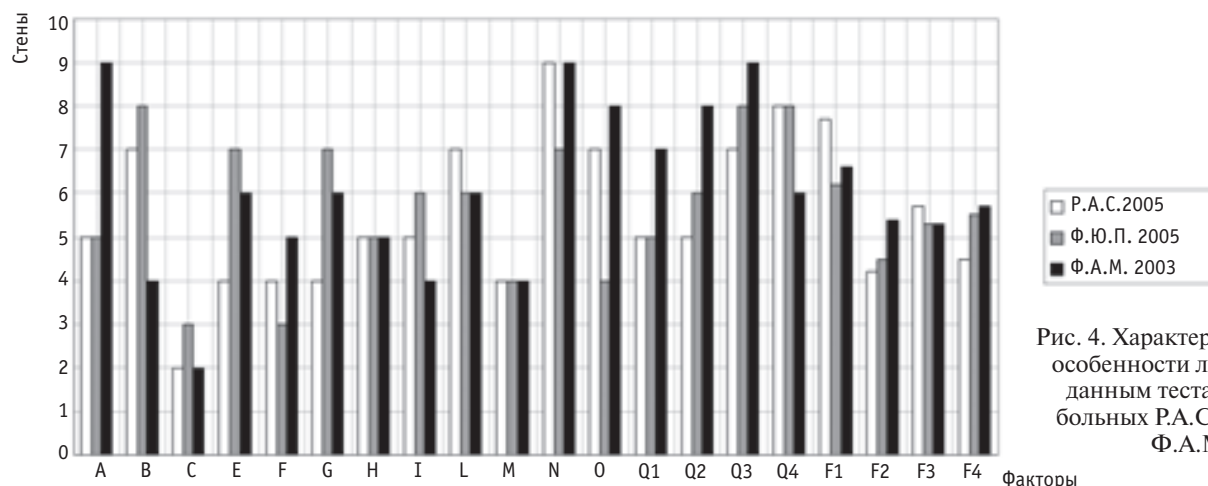


Рис. 4. Характерологические особенности личности по данным теста Кеттелла больных Р.А.С., Ф.Ю.П., Ф.А.М.

ляет 267 ± 88 мс по сравнению со средним значением ПСМР для оперативного персонала АЭС — 260 ± 56 мс. Время выполнения ССМР у Р.А.С. — 617 ± 226 мс, у персонала АЭС — 407 ± 90 мс. При этом верно выполненных реакций — 16, пропусков — нет, ошибка — 7 (недопустимая граница ошибок — $T > 4$) — снижен слух. Время реакции на движущийся объект у Р.А.С. — 1003 ± 46 мс, у персонала АЭС — 1002 ± 16 . Точность — 11 %. По результатам ССМР выполнять работу оператора не может из-за снижения слуха. При сравнительной оценке операторской работоспособности Ф.А.М. можно отметить, что время выполнения ПСМР у Ф.А.М. — составляет 305 ± 59 мс по сравнению со средним значением ПСМР для оперативного персонала АЭС — 260 ± 56 мс. Время выполнения ССМР у Ф.А.М. — 582 ± 87 мс, у персонала АЭС — 407 ± 90 мс. При этом верно выполненных реакций — 16, пропусков — нет, ошибка — 3 (недопустимая граница ошибок $T > 4$). Время реакции на движущийся объект у Ф.А.М. — 988 ± 46 мс, у персонала АЭС — 1002 ± 16 мс. Точность — 2 % (норма 8 %). Время реакции замедлено, точность снижена. Выполнять работу оператора не может.

Таким образом, подъем показателей профиля ММРП выше 80 Т-баллов по шкалам 1, 2, 6, 8, и F как неврологической, так и психологической триады, указывает на перенапряжение психической адаптации у трех участников аварий на атомных подводных лодках К-19 (Ф.Ю.П.) и К-27 (Р.А.С. и Ф.А.М.).

Основным общим стрессовым фактором перенапряжения психофизиологической адаптации явилось затянувшееся решение социального вопроса о признании пострадавших инвалидами по совокупности заболеваний, связанных с непосредственным участием в действии подразделения особого риска (Ф.А.М. через 27 лет, Р.А.С. через 37 лет, Ф.Ю.П. через 38 лет после радиационной аварии).

Положительное решение в суде вопроса по индексации пенсии Ф.А.М. привело к значительной положительной динамике психологических данных в виде постепенного снижения уровня показателей, характеризующих выраженность аффективной ригидности, мнительности и неуверенности в себе, оригинальности

мышления (шкалы 6, 7, 8 соответственно), уровня тревожности (шкалы 2, 9, F, 0), с сохранением значительной выраженности ипохондрических тенденций, ухудшение которых обусловлено длительным судебным процессом (в течение 6 лет).

Заключение

Больной Р.А.С. перенес ОЛБ более тяжелой степени (ОЛБ III), чем Ф.А.М. и Ф.Ю.П. Несмотря на это, установка и мотивация на трудовую деятельность позволила ему прожить активную трудовую жизнь, иметь меньшую степень снижения эффективности социальной адаптации и менее выраженную психосоматическую патологию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуськова А.К. Болезнь и личность больного. // Врач. 2003. № 5. С. 57–58.
2. Ларцев М.А. Психофизиологическое обеспечение профессиональных контингентов, участвующих в ликвидации чрезвычайных ситуаций (методология и организация). Авторефер. дисс. докт. мед. наук. М. 1998. 34 с.
3. Либерман А.Н. Радиация и стресс. Социально-психологические последствия Чернобыльской аварии. СПб. 2002. 160 с.
4. Мартенс В.К., Бобров А.Ф., Сорокин А.В. и соавт. Прогнозирование профессиональной надежности оперативного персонала Балаковской АЭС. Метод. рекомендации. М. 1999. 20 с.
5. Преображенский В.Н., Ушаков И.Б., Лядов К.В. Активационная терапия в системе медицинской реабилитации лиц опасных профессий. М.: Паритет Граф. 2000. 320 с.
6. Сушкевич А.Г. Стресс-индуцированные факторы риска невротических расстройств и рациональные подходы к повышению индекса качества жизни у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Дисс. канд. мед. наук. М. 2006. 135 с.
7. Ушаков И.Б., Карпов В.Н. Мозг и радиация (к 100-летию радионейробиологии). М.: Изд. ГНИИИ авиац. и космич. медицины. 1997. 75 с.

Поступила: 05.12.2015

Принята к публикации: 14.12.2015

**Ю.В. Семенова^{1,2}, А.Б. Карпов^{1,3}, Р.М. Тахауов^{1,3}, Е.Г. Борисова¹,
Д.Е. Максимов^{1,3}, А.Б. Тривоженко¹, Е.В. Ковальчук¹**

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ЛИЦ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

**Yu.V. Semenova^{1,2}, A.B. Karpov^{1,3}, R.M. Takhauov^{1,3}, E.G. Borisova¹,
D.E. Maximov^{1,3}, A.B. Trivozhenko¹, E.V. Kovalchuk¹**

Structural and Functional Changes of Vascular System in Individuals Exposed to Occupational Irradiation of Low Intensity

РЕФЕРАТ

Цель: Изучить состояние сосудистой стенки при длительном воздействии малых доз профессионального облучения у работников предприятия атомной промышленности.

Материал и методы: Объектом исследования являлись работники Сибирского химического комбината, подвергавшиеся долговременному профессиональному облучению ($n = 93$). Из числа работников 45–55 лет путем рандомизации была сформирована группа лиц для участия в исследовании со стажем работы на производстве не менее трех лет. Каждый человек был описан 65 переменными, включавшими характеристики социального статуса, информацию о факторах риска, биохимические показатели, основные клинические данные, а также дозовую нагрузку. С помощью артериографа VaSera VS-1500N (Япония) были изучены параметры компьютерной сфигмометрии: пульсовое и среднее артериальное давление, скорость распространения пульсовой волны в аорте, определение сердечно-лодыжечного и лодыжечно-плечевого индексов.

Результаты: Из общего количества обследованных 48 человек страдали артериальной гипертензией 1–2 степени, 47 человек – абдоминальным ожирением, 81 человек – дислипидемией. У работников, подвергавшихся длительному воздействию низких уровней облучения, не найдено грубых асимметричных окклюзирующих и стенозирующих поражений артериального русла обследованных бассейнов (верхние и нижние конечности). Скорость распространения пульсовой волны (PWV) и сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI), характеризующие истинную сосудистую жесткость, статистически значимо не отличались в сравниваемых группах (у здоровых лиц и страдающих артериальной гипертензией; у лиц с нормальным весом и ожирением). Лишь при артериальной гипертензии 2 степени прослеживалась тенденция к возрастанию сосудистой жесткости. Возможно, это связано с протективным действием малых доз ионизирующего излучения на сосудистую стенку. Методика компьютерной сфигмометрии дополняет протокол периодического медицинского осмотра персонала радиационно-опасных производств. При наличии конвенциональных факторов риска развития артериальной гипертензии профессиональное облучение не является существенным фактором патогенеза заболевания.

Выводы: Анализ параметров компьютерной сфигмографии у лиц, контактирующих с источниками техногенного облучения, не выявил отрицательного влияния ионизирующего излучения (внешнее γ -излучение) в изученном диапазоне доз на состояние сосудистой стенки. Патогенез артериальной гипертензии у трудоспособных мужчин 45–55 лет – работников атомной промышленности – был связан, главным образом, с увеличением массы тела, формированием абдоминального ожирения, дислипидемии и elevацией сосудистой жесткости.

Ключевые слова: профессиональное облучение, малые дозы, артериальная гипертензия, факторы риска, сосудистая жесткость, компьютерная сфигмометрия

ABSTRACT

Purpose: To study the condition of vascular system in employees of nuclear industry exposed to long-term occupational irradiation in a range of low doses.

Material and methods: The object of study is the group of employees of the Siberian Chemical Enterprises, exposed to long-term occupational irradiation ($n = 93$). Among the employees (44–45 years old) a group of individuals, whose duration of occupational activity was not less than 3 years, was formed by means of randomization. For each person the 65 parameters including the social status characteristics, information on main risk factors, biochemical indices, main clinical data and cumulative dose of the external exposure were evaluated. Using the sphygmograph VaSera VS-1500N (Japan) the following parameters of computer sphygmomanometry in the employees were analyzed: pulse and medium arterial pressure, aortic pulse wave velocity (PWV), cardio ankle vascular index (CAVI), ankle-brachial pressure index (ABI).

Results: 48 people had hypertension of 1–2 degrees, 47 people had abdominal obesity, 81 people had dyslipidemia of the total number surveyed. Employees exposed to low levels of radiation did not have asymmetric occlusive and stenosing lesions of arterial system of the upper and lower limbs were not detected. The value of PWV and CAVI characterizing real vascular rigidity did not differ statistically and significantly in the compared groups (health individuals: patients with arterial hypertension; individuals with normal weight and individuals with obesity). Only patients with the second degree of arterial hypertension had the tendency of increasing of vascular rigidity. Perhaps this is due to the protective effect of low doses of ionizing radiation on the vascular wall.

Methods of computer Sphygmomanometry complements the protocol of the periodic medical staff examination of radiation-hazardous facilities. If there are conventional risk factors for the progression of hypertension, occupational exposure is not a significant factor in the pathogenesis of the disease.

Conclusion: The analysis of computer sphygmomanometry parameters did not detect the negative influence of the external exposure in the studied dose range on the vascular wall in the individuals exposed to the occupational irradiation (external γ -radiation). Arterial hypertension pathogenesis of the able-bodied men of 44–55 years old was mainly connected with the increase in body size, abdominal obesity, dyslipidemia, elevation of vascular rigidity.

Key words: occupational irradiation, low doses, arterial hypertension, risk factors, vascular rigidity, computer sphygmomanometry

¹ Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск. E-mail: mail@sbrc.ru; kab@sbrc.ru

² Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Северск

³ Сибирский государственный медицинский университет, Томск

¹ Seversk Biophysical Research Center of the FMBA of Russia, Seversk, Russia. E-mail: mail@sbrc.ru; kab@sbrc.ru

² Siberian Federal Research and Clinical Center of the FMBA of Russia, Seversk, Russia

³ Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Введение

Известно, что сердечно-сосудистые заболевания являются ведущей причиной смерти населения промышленно развитых стран. При этом отмечено, что не менее половины трудоспособного мужского населения страдают артериальной гипертонией (АГ), осложнения которой и представляют главную опасность в контексте развития фатальных событий (острый инфаркт миокарда, мозговой инсульт). Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что снижение интенсивности воздействия основных факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний могут в значительной степени влиять на показатели не только смертности, но и заболеваемости [1–3]. Помимо конвенциональных факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (связь которых с заболеваемостью безусловно доказана и не обсуждается) все большее внимание сегодня уделяется роли техногенных факторов в развитии наиболее значимых заболеваний человека (прежде всего сердечно-сосудистых и онкологических). Принимая во внимание расширение использования источников ионизирующего излучения в самых разных сферах деятельности человека, учеными разных стран активно обсуждается вопрос о влиянии техногенного облучения на риск заболеваемости и смертности вследствие сердечно-сосудистых заболеваний, в частности, ишемической болезни сердца и АГ [4–6].

В последние годы для малообновляющихся тканей активно обсуждается наличие особых клеточных эпигенетических эффектов действия ионизирующего излучения. Эти эффекты состоят в массовом скачкообразном переходе клеток популяции в новое устойчивое состояние, для которого характерно длительное повышение вероятности гибели клеток. В наиболее детально исследованных тканях — эндотелии кровеносных сосудов, гладкой мускулатуре сосудистой стенки — клеточные изменения данного типа зарегистрированы уже при однократном облучении в дозе 0,25–0,5 Гр [7]. Однако НКДАР ООН еще в 2000 г. указал на принципиальную невозможность использования экспериментальных данных при исследовании зависимостей «доза — эффект» для диапазона малых доз у человека. В этой связи, вопрос о влиянии ионизирующего излучения на патогенез сердечно-сосудистых заболеваний (и АГ, в первую очередь) требует дальнейшего изучения, поскольку патогенез сердечно-сосудистых заболеваний определяют эндотелиальная дисфункция и нарушение растяжимости артериальной стенки, являющиеся частично обратимыми согласно современным представлениям [8]. Таким образом, для формирования стратегии про-

филактики сердечно-сосудистых заболеваний и их осложнений у лиц, подвергавшихся техногенному облучению, особую актуальность приобретают исследования, касающиеся как оценки функциональных способностей сосудистой стенки при уже имеющихся заболеваниях системы кровообращения (в частности АГ), так и оценки воздействия хронического облучения на состояние сосудистой системы.

Целью настоящего исследования являлось изучение структурно-функциональных характеристик сосудистой стенки у лиц, подвергавшихся долговременному радиационному воздействию низкой интенсивности при профессиональном облучении.

Материал и методы

Объектом исследования являлись работники Сибирского химического комбината — комплекса предприятий атомной индустрии — подвергавшиеся долговременному профессиональному облучению. Путем рандомизации была сформирована группа лиц, вошедших в исследование ($n = 93$). Стаж работы на Сибирском химическом комбинате варьировал от 7 до 25 лет (в среднем $18,7 \pm 2,6$ года). Критерии исключения: высокая и злокачественная АГ, продолжительность АГ более трех лет, выраженный клинически значимый коронарный или периферический атеросклероз, острые сосудистые осложнения в анамнезе, сердечная недостаточность выше I степени, нарушения ритма и проводимости, тяжелые расстройства функции печени, щитовидной железы, острые заболевания желудочно-кишечного тракта, органов дыхания, высокая степень ожирения, отказ от обследования. Из числа обследованных 48 человек страдали АГ 1–2 степени, 47 человек — абдоминальным ожирением, 81 человек — дислипидемией. Большинство (63 %) обследованных трудоспособных мужчин имели промежуточный уровень сердечно-сосудистого риска (3–4 % по системе Score).

В табл. 1 представлена краткая клиническая характеристика обследованных — больных АГ основной группы ($n = 48$) и здоровых мужчин, формирующих группу контроля ($n = 45$). Диагноз АГ устанавливался на основании действующих рекомендаций Российского кардиологического общества (2010 г.). Продолжительность АГ выяснялась по данным анамнеза и уточнялась по данным медицинской документации. Гиперхолестеринемия диагностировали при уровне общего холестерина выше 5,0 ммоль/л. Маркером дислипидемии считали уровень триглицеридов более 1,7 ммоль/л; уровень холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП)

Таблица 1

Клиническая характеристика сравниваемых групп персонала Сибирского химического комбината

Признак	Контрольная группа	Основная группа (лица с АГ)
Возраст, годы	49,8 ± 3,8	49,8 ± 2,9
Возраст начала облучения	31,0 ± 9,1	30,8 ± 9,9
Суммарная доза внешнего облучения, мЗв	22,3 (15,1–49,2)	19,6 (12,2–36,4)
Рост, см	175,7 ± 6,7	176,6 ± 5,4
Вес, кг	84,9 ± 12,5	98,0 ± 19,4*
Объем талии, см	98,0 ± 9,2	108,8 ± 14,5*
Общий холестерин, ммоль/л	5,8 ± 0,8	6,1 ± 1,0
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,2*
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	3,9 ± 0,8	4,0 ± 0,8
Триглицериды, ммоль/л	1,2 (1,1–1,7)	2,1 (1,4–2,9)
Частота сердечных сокращений, уд./мин	65,8 ± 8,0	68,4 ± 11,7
Пульсовое давление, мм рт. ст.	51,1 ± 10,9	57,8 ± 12,2*
Диастолическое АД, мм рт. ст.	81,2 ± 10,1	90,1 ± 8,2*
Систолическое АД, мм рт. ст.	136,8 ± 15,5	144,2 ± 16,0*

Примечание:

В этой и последующих таблицах * отмечены статистически значимые отличия с контрольной группой ($p < 0,05$)

менее 1,0 ммоль/л, уровень холестерина липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) – более 3 мг/л.

Для характеристики массы тела использовали индекс массы тела (ИМТ), рассчитываемый как отношение массы тела (в килограммах) к росту (в метрах), возведенному в квадрат. За избыточную массу тела принимали значение ИМТ для мужчин от 29 кг/м² и выше. Об абдоминальном ожирении судили по объему талии в см. Статус курения, наличие отягощенной наследственности и сахарного диабета выясняли по данным анамнеза и по медицинской документации. Уровень психологического напряжения (субъективные переживания по поводу главных жизненных событий, межличностных отношений и т. д.) уточнялся анамнестически. Расчет суммарного сердечно-сосудистого риска осуществлялся по системе Score. Численность подгрупп с различными уровнями суммарного сердечно-сосудистого риска среди здоровых и больных АГ были сопоставимы.

Для каждого человека, вошедшего в исследование, были определены следующие факторы риска развития АГ: возраст, интенсивность курения, уровень психоэмоционального напряжения, отягощенная наследственность, частота употребления алкоголя, гиподинамия, показатели липидного спектра, уровень глюкозы, креатинина, антропометрические данные, а также характеристики производственного облучения: суммарная доза внешнего облучения, стаж облучения, стаж сменного труда. Факт контакта с источниками ионизирующего излучения уточнялся ретроспективно (после включения в исследование) по данным регионального медико-дозиметрического регистра. Все больные АГ имели данные индивидуального дозиметрического контроля; медиана

суммарной эффективной дозы внешнего облучения составляла 19,6 мЗв (интерквартильный размах от 12,2 до 36,4 мЗв). У 43 мужчин контрольной группы, имевших данные индивидуального дозиметрического контроля, медиана суммарной эффективной дозы внешнего облучения составляла 22,3 мЗв (интерквартильный размах от 15,1 до 49,2 мЗв). Средние значения доз внешнего облучения в исследуемой и контрольной группах статистически значимо не отличались ($p > 0,05$).

Инструментальное обследование пациентов проводили на аппарате VaSera VS-1500N (Fukuda Denshi, Япония) в ходе проведения периодического медицинского осмотра. Этот компьютерный сфигмоманометр неинвазивно измеряет артериальное давление (АД) на четырех конечностях с одновременной записью электрокардиограммы, фонокардиограммы и пульсовых волн на сонной и бедренной артериях, а также на артериях четырех конечностей. С помощью программного обеспечения артериографа определяли следующие характеристики АД и пульсовой волны: систолическое и диастолическое АД, частоту сердечных сокращений, среднее АД, пульсовое АД, скорость распространения пульсовой волны (PWV) в аорте, определение сердечно-лодыжечного (CAVI) и лодыжечно-плечевого индексов (ABI), что позволило получить дополнительные данные о наличии, распространенности и выраженности артериосклероза у обследуемых.

При обработке полученных результатов использовали общепринятые методы статистического анализа с помощью пакетов программ Statistica 8.0, SPSS 11.5.0. Исследование взаимосвязи между дискретными, качественными признаками проводилось с ис-

пользованием анализа двумерных таблиц сопряженности с вычислением значения критерия Пирсона χ^2 , а также значения показателя силы связи двух качественных признаков коэффициента ϕ . При отклонении распределения от нормального (критерии Колмогорова, Лиллиефорса и Шапиро – Уилки) сравнение параметров этих групп производилось также с помощью непараметрических критериев: однофакторный дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса, основанный на ранговых метках Вилкоксона, медианный тест, ранговая корреляция Спирмэна. Для проведения многофакторного анализа использовали метод логистической регрессии. При проверке статистических гипотез критический уровень значимости (p) принимался равным 5 %.

Результаты и обсуждение

С учетом высокой распространенности АГ среди обследованных на первом этапе исследования был проведен анализ состояния сосудистой стенки в зависимости от соматической патологии и метаболических нарушений, в том числе наличия или отсутствия АГ, наличия или отсутствия ожирения. Второй этап работы был посвящен анализу зависимости изучаемых параметров от степени радиационного.

По данным обследования больные АГ характеризовались более высоким уровнем офисного АД (систолического, диастолического и пульсового) (табл. 1). Если уровень диастолического АД был статистически значимо повышен только у работников с АГ ($p < 0,05$), то частая регистрация пограничного систолического АД в контрольной группе в условиях офисного измерения, достигающего уровня повышенного нормального, безусловно, требует дополнительных методов обследования состояния сосудистой стенки. По результатам физикального осмотра для больных АГ в сравнении со здоровыми был характерен больший вес тела ($p < 0,05$) при сопоставимом росте и больший объем талии ($p < 0,05$). ИМТ в основной группе статистически значимо превышал таковой в контроле: $29,9 \text{ кг/м}^2$ ($27,15\text{--}36,1$) и $27,2 \text{ кг/м}^2$ ($24,7\text{--}31,1$) соответственно; $p < 0,05$.

В табл. 2 представлены изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудов у больных АГ и здоровых лиц, вошедших в исследование. Значения лодыжечно-плечевого индекса (ABI) были сопоставимы в исследуемой и контрольной группах. Важно отметить отсутствие асимметрии данного показателя, что свидетельствует об отсутствии выраженного атеросклеротического поражения артериального русла нижних конечностей у всех обследованных. Величина сердечно-лодыжечного сосудистого индекса (CAVI) не отличалась в сравниваемых

Таблица 2

Параметры компьютерной сфигмометрии в сравниваемых группах персонала Сибирского химического комбината

Параметр	Контрольная группа	Основная группа (лица с АГ)
R-ABI	$1,1 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
L-ABI	$1,1 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
Среднее АД, мм рт. ст. (правая рука)	$106,1 \pm 12,8$	$115,3 \pm 18,2^*$
Пульсовое давление, мм рт. ст. (правая рука)	$51,1 \pm 10,9$	$57,8 \pm 12,2^*$
PWV, м/с	$7,9 \pm 0,6$	$8,3 \pm 1,2$
R-CAVI	$8,4 (7,8\text{--}8,6)$	$8,1 (7,6\text{--}8,6)$
L-CAVI	$8,2 (7,5\text{--}8,6)$	$8,1 (7,5\text{--}8,7)$

группах. Как показатель раннего атеросклероза/атеросклероза, сердечно-лодыжечный сосудистый индекс обеспечивает надежную неинвазивную диагностику стенозирующего атеросклероза. Считается, что этот показатель определяет истинную жесткость артериальной стенки независимо от уровня АД [9]. Для скорости распространения пульсовой волны (PWV) была характерна тенденция к увеличению ее значения в группе лиц с АГ. Невысокий уровень (менее 10 м/с) этого показателя был связан с малой продолжительностью АГ у обследованного персонала предприятия, возрастом работников. При сравнении уровня PWV в подгруппах, сформированных в зависимости от степени АГ, выяснилось, что при АГ второй степени прослеживалась отчетливая тенденция к возрастанию сосудистой жесткости в сравнении со здоровыми работниками: $8,34 \pm 0,83 \text{ м/с}$ при АГ второй степени; $8,27 \pm 1,16 \text{ м/с}$ при АГ первой степени; $7,94 \pm 0,60 \text{ м/с}$ у здоровых.

Уровень диастолического АД был связан с величиной коэффициента атерогенности ($r_s = 0,16$; $p = 0,034$) и с антропометрическими параметрами – с ИМТ ($r_s = 0,18$; $p = 0,03$), объемом талии ($r_s = 0,24$; $p = 0,032$) и со скоростью накопления дозовой нагрузки ($r_s = 0,22$; $p = 0,008$). Известна неблагоприятная роль абдоминального ожирения в генезе АГ. Полученные нами результаты свидетельствуют, что величина объема талии статистически значимо была связана с основными компонентами липидного спектра, наиболее значимо – с уровнем триглицеридов ($r_s = 0,53$; $p = 0,002$) с величиной коэффициента атерогенности ($r_s = 0,48$; $p = 0,002$). У здоровых мужчин величина АД не имела статистически значимых связей с дозовой нагрузкой и стажем контакта с источниками ионизирующего излучения.

При изучении взаимосвязей между развитием АГ у персонала Сибирского химического комбината и отдельными конвенциональными факторами риска

Таблица 3

**Клинические данные и параметры
компьютерной сфигмометрии работников
в зависимости от величины ИМТ**

Параметр	Группа без ожирения	Группа с ожирением
Возраст, годы	50,1 ± 3,5	49,3 ± 3,1
Стаж облучения, годы	13,8 ± 8,1	15,6 ± 8,7
Суммарная доза внешнего облучения, мЗв	19,6 (13,2–43,2)	21,4 (14,1–49,8)
ИМТ, кг/м ²	26,3 ± 4,4	32,5 ± 5,4*
Общий холестерин, ммоль/л	5,9 ± 0,8	6,0 ± 1,2
Триглицериды, ммоль/л	1,2 (1,1–2,0)	2,0*(1,6–2,9)
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,2
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	4,0 ± 0,7	3,9 ± 0,9
R-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,08
L-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1*
Среднее АД (правая рука), мм рт. ст.	107,0 ± 13,5	116,5 ± 19,6*
Пульсовое АД (правая рука), мм рт. ст.	52,4 ± 11,0	57,7 ± 12,9*
PWV, м/с	8,1 ± 0,7	8,1 ± 0,3*
R-CAVI	8,3 (7,9–8,6)	8,1 (7,3–8,5)
L-CAVI	8,2 (7,6–8,7)	8,1 (7,3–8,5)

были обнаружены хорошо известные связи: с гипертриглицеридемией ($\chi^2 = 16,94$; $p = 0,0003$); с ожирением, являющимся компонентом метаболического синдрома ($\chi^2 = 5,95$; $p = 0,015$). Частота курения, наследственных отягощений по **сердечно-сосудистым заболеваниям**, повышения уровня психоэмоционального напряжения, гиперхолестеринемии у больных АГ и здоровых мужчин была сопоставима, поэтому был проведен сравнительный анализ изучаемых параметров компьютерной сфигмометрии в зависимости от наличия или отсутствия ожирения у обследован-

ных. В табл. 3 представлены изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудов у больных с ожирением (ИМТ > 30) и здоровых лиц, вошедших в исследование. Среднее и пульсовое АД были выше у лиц, страдающих ожирением, в сравнении с работниками, имеющими нормальный вес. Значение индекса CAVI было сопоставимо в сравниваемых группах.

Хотя суммарная дозовая нагрузка и возраст начала контакта с источниками ионизирующего излучения в сравниваемых группах персонала Сибирского химического комбината не отличались, полностью исключить влияние техногенных факторов на патогенез сердечно-сосудистых заболеваний по результатам первого этапа исследования сложно. Следует отметить, что скорость накопления дозовой нагрузки для лиц, страдающих АГ, была статистически значимо меньше, чем у здоровых ($p = 0,008$): 1,52 (0,70–2,52) мЗв/год при АГ и 2,28 (1,22–3,92) мЗв/год без АГ.

Для определения возможной связи изменения структурно-функционального состояния сосудистой стенки с влиянием профессионального облучения из всего массива обследованных лиц были сформированы три подгруппы в зависимости от уровня дозовой нагрузки: > 10 мЗв (в эту группу, служившую контрольной, учитывая минимальный уровень радиационного воздействия, наряду с лицами, имеющими АГ, были включены двое мужчин из группы здоровых лиц, не имеющих дозовых нагрузок по внешнему облучению ($n = 31$)), более 10–30 мЗв ($n = 30$) и свыше 30 мЗв ($n = 32$). Следует отметить, что для большей информативности, разумеется, желательно было бы проводить оценку в группах с более высо-

Таблица 4

**Клинические данные и параметры компьютерной сфигмометрии работников
при различных уровнях дозовой нагрузки**

Параметр	Суммарная эффективная доза внешнего облучения, мЗв		
	< 10	10–30	> 30
Возраст, годы	49,7 ± 2,6	49,7 ± 3,8	50,0 ± 3,1
Стаж облучения, годы	4,5 ± 3,6	15,12 ± 7,2*	18,4 ± 7,42*
Суммарная доза внешнего облучения, мЗв	1,2 (0,5–4,1)	17,9*(14,9–23,3)	54,7* (45,1–70,8)
ИМТ, кг/м ²	30,7 ± 5,0	29,2 ± 5,1	29,7 ± 6,2
Общий холестерин, ммоль/л	5,5 (5,3–5,8)	5,9 (5,3–6,4)	6,0 (5,4–6,8)
Триглицериды, ммоль/л	1,9 (1,2–3,1)	1,4 (1,1–2,1)	1,6 (1,2–2,2)
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	0,9 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,2*
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	3,8 ± 0,7	4,0 ± 0,8	4,0 ± 0,8
R-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1
L-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1
Среднее АД (правая рука), мм рт. ст.	112,8 ± 12,6	109,1 ± 16,7	110,8 ± 18,4
Пульсовое АД (правая рука), мм рт. ст.	59,9 ± 13,6	52,77 ± 12,1	53,9 ± 10,5
PWV, м/с	8,2 (7,9–8,8)	7,8 (7,6–8,2)	8,2 (7,7–8,9)
R-CAVI	8,3 (7,8–8,5)	8,05 (7,2–8,6)	8,25 (7,9–8,6)
L-CAVI	8 (7,45–8,25)	8,1 (7,3–8,5)	8,3 (7,9–8,7)

кими дозовыми нагрузками (например, 50–100 мЗв, 100–200 мЗв и т.д.), однако сделать это практически невозможно, поскольку накопление таких доз в современных технологических условиях предполагает чрезвычайно длительную экспозицию радиационного воздействия и соответственно достижение более «серьезных» возрастных интервалов, когда имеется значительный груз соматических болезней и обменных нарушений, оказывающих выраженное негативное влияние на компоненты сердечно-сосудистой системы.

Показатели распространенности АГ, ожирения, курения, дислипидемии, повышенного уровня психоэмоционального напряжения и отягощенной наследственности в сформированных по уровню дозовой нагрузки подгруппах не отличалась. В табл. 4 представлены биохимические параметры и изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудов в сравниваемых подгруппах. Значения индексов ABI и CAVI не отличались, что свидетельствует об отсутствии существенной связи между уровнем дозовой нагрузки и выраженностью артериосклероза/атеросклероза периферического русла у обследованных. Жесткость артериальной стенки, которую характеризует скорость распространения пульсовой волны, демонстрировала незначительные колебания при изменении дозовой нагрузки (тенденцию к уменьшению ее значения при увеличении суммарной дозы облучения более 10 мЗв), не отличаясь статистически значимо в сравниваемых подгруппах.

Корреляционный анализ, проведенный во всем массиве данных, обнаружил наличие слабой корреляции между индексом атерогенности и величиной дозы облучения ($r_s = -0,216$; $p = 0,035$); ABI и стажем облучения ($r_s = -0,241$; $p = 0,026$). Можно предположить, что длительное профессиональное облучение низких уровней обладало протективным действием: замедляло рост жесткости сосудистой стенки на фоне повышенного АД и дислипидемии у мужчин трудоспособного возраста. Кроме того, уровень систолического АД увеличивался с ростом стажа облучения ($r_s = 0,15$, $p = 0,035$).

Логистический регрессионный анализ был применен для определения того, какие независимые пере-

менные оказывали наибольшее влияние на формирование АГ в возрасте 40–50 лет у мужчин — работников Сибирского химического комбината. В статистическую модель включали антропометрические характеристики, возраст, уровень психоэмоционального напряжения, показатели сфигмометрии, показатели липидного спектра крови, уровень С-реактивного белка, а также экспозиционные характеристики техногенного воздействия (стаж облучения, суммарная эффективная доза внешнего облучения, возраст начала облучения). В табл. 5 представлены результаты многомерного анализа связи факторов риска с наличием АГ. Показано, что формирование АГ объясняется вариабельностью набора признаков, вошедших в уравнение регрессии с точностью 74,1 %. Основными признаками, прогнозирующими возникновение АГ в зрелом возрасте, у мужчин являются антропометрические характеристики (ИМТ ($p = 0,095$)), PWV ($p = 0,011$) и атерогенность плазмы крови ($p = 0,025$). Параметры техногенного воздействия не показали статистически значимого влияния на развитие АГ у персонала предприятия атомной промышленности.

Необходимо отметить, что все работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда подлежат обязательным предварительным и периодическим медицинским осмотрам (обследованиям) согласно приказу Минздравсоцразвития РФ от 12 апреля 2011 г. № 302н. Согласно этому приказу, одним из медицинских противопоказаний для работы с ионизирующего излучения являются облитерирующие заболевания сосудов вне зависимости от степени компенсации, хотя исследований, достоверно доказывающих влияние ионизирующего излучения на состояние эндотелия сосудистой стенки, проведено не было, и в регламентированный приказом перечень ежегодных обследований диагностика заболеваний периферических артерий не входит. Исследование скорости распространения пульсовой волны может быть использовано для объективного контроля ригидности сосудистой стенки при проведении как диагностических, так и лечебно-профилактических мероприятий. Важно отметить, что рост пульсового давления на конечностях, регистрируемый при офисном измерении, является ранним, простым и надежным признаком формирующихся сосудистых сдвигов. Однако только параметры сфигмометрии позволяют уточнить количественные характеристики эластических свойств сосудов при становлении соматической патологии [6]. Так, нами обнаружено, что скорость распространения пульсовой волны и лодыжечно-плечевой индекс у работников с ожирением превышали аналогичные параметры у мужчин с нормальной массой тела.

Таблица 5

Предикторы АГ у персонала Сибирского химического комбината

Факторы риска	β -коэффициент	Стандартное отклонение коэффициента	Уровень значимости
ИМТ	-0,108	0,065	0,095
PWV	-1,435	0,563	0,011
К атерогенности	-0,508	0,226	0,025

В настоящем исследовании впервые изучено состояние периферических артерий — растяжимость артерий, степень нарушения кровотока, лодыечно-плечевой индекс — у лиц, страдающих АГ, на фоне профессионального облучения. Среди мужчин — работников Сибирского химического комбината, подвергающихся длительному воздействию низких уровней облучения, — не отмечено грубых асимметричных окклюзирующих и стенозирующих поражений артериального русла обследованных бассейнов (верхние и нижние конечности). Изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудистой стенки были сопоставимы в сравниваемых подгруппах, сформированных в зависимости от суммарной дозовой нагрузки.

Скорость распространения пульсовой волны и сердечно-лодыжный сосудистый индекс, характеризующие истинную сосудистую жесткость, статистически значимо не отличались в сравниваемых группах (у здоровых лиц и при АГ). Возможно, это связано с протективным действием малых доз ионизирующего излучения на сосудистую стенку.

Выводы

1. Оценка состояния сосудистой стенки, на основе анализа величин ее жесткости, скорости пульсовой волны, лодыечно-плечевого индекса у лиц, контактирующих с источниками техногенного облучения, не выявила отрицательного влияния ионизирующего излучения (внешнее γ -излучение) в изученном диапазоне доз на изучаемые характеристики сердечно-сосудистой системы.

2. Становление АГ у трудоспособных мужчин 45–55 лет — работников атомной индустрии = связано, главным образом, с увеличением массы тела, формированием ожирения, дислипидемии и элевацией сосудистой жесткости.

3. Сфигмометр дает возможность исследовать растяжимость артерий всех конечностей и степень нарушения кровотока в артериальном русле каждого обследованного региона у пациента. С целью совершенствования системы профилактических мероприятий, направленных на снижение уровня заболеваемости и смертности от АГ, рекомендуется

проводить формирование групп риска персонала с учетом структурно-функционального состояния сосудистой стенки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенова Ю.В., Карпов А.Б., Литвиненко Т.М. и соавт. Контроль факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний в реальной клинической практике // Врач. 2014. № 3. С. 85–87.
2. Conroy R.M., Pyörälä K., Fitzgerald A.P. et al. Estimation of ten-year risk of fatal cardiovascular disease in Europe: the SCORE project // Eur. Heart J. 2003. Vol. 24. P. 987–1003.
3. 2012 European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice // Eur. Heart J., 2012. Vol. 33. P. 1635–1701.
4. Drubay D., Caër-Lorho S., Laroche P. et al. Mortality from circulatory system diseases among french uranium miners: a nested case-control study // Radiat. Res. 2015. Vol. 183. № 5. P. 550–562.
5. Karpov A.B., Semenova Yu.V., Takhauov R.M. et al. The risk of acute myocardial infarction and arterial hypertension in a cohort of male employees of Siberian Group of Chemical Enterprises exposed to long-term irradiation // Health Phys. 2012. 103. № 1. P. 15–23.
6. Zablotska L.B., Little M.P., Cornett R.J. Potential increased risk of ischemic heart disease mortality with significant dose fractionation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study // Am. J. Epidemiol., 2014. № 1. P. 120–131.
7. Бычкова И.Б., Степанов Р.П., Кирик О.В. Некоторые новые аспекты проблемы радиочувствительности малообновляющихся тканей // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2003. Т. 48. № 6. С. 5–15.
8. Celermayer D.S. Endothelial dysfunction: Does it matter? Is it reversible? // Am. Coll. Cardiol., 1998. Vol. 30. P. 325–332.
9. Милягин В.А., Милягина И.В., Абраменкова Н.Ю. и соавт. Неинвазивные методы исследования магистральных сосудов. Смоленск: Смоленская гор. типография. 2012. 223 с.

Поступила: 02.10.2015

Принята к опубликованию: 14.12.2015

Н.С. Воротынцева, М.Ю. Зозуля**ВОЗРАСТНЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ ПАРЕНХИМАТОЗНЫХ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ У ДЕТЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ КУРСКОЙ АЭС****N.S. Vorotyntseva, M.Yu. Zozulya****Ultrasonic Morphometric Age Standards of Abdominal Parenchymatous Organs of the Children Living in the Area of Kursk NPP**

РЕФЕРАТ

Цель: Определение индивидуальных региональных возрастных стандартов ультразвуковой морфометрии паренхиматозных органов брюшной полости у детей, проживающих в зоне размещения Курской АЭС.

Материал и методы: Представлены результаты ультразвукового исследования паренхиматозных органов брюшной полости у 400 детей в возрасте от 1 года до 17 лет 11 мес, проживающих в зоне размещения Курской АЭС. Была произведена оценка отношения длин правой и левой почек, косоперечного размера правой доли печени и длины селезенки в зависимости от пола и возраста исследуемых.

Результаты: Были разработаны математические модели и формулы расчета стандартизованных ультразвуковых морфометрических показателей, определен ежегодный прирост морфометрических размеров паренхиматозных органов брюшной полости. Кроме того, при сравнении длины правой почки с косоперечным размером правой доли печени и длины левой почки с длиной селезенки были разработаны индивидуальные пороговые критерии для диагностики гепатоспленомегалии.

Выводы: У детей в возрасте от 3 до 11 лет косоперечный размер правой доли печени должен соответствовать длине правой почки как 1:1; длина селезенки у детей в возрасте от 2 до 11 лет должна соответствовать длине левой почки как 1:1. У детей старше 12 лет размеры печени и селезенки не должны превышать размеры правой и левой почек соответственно. Показано, что работающая в штатном режиме Курская АЭС не оказывает отрицательного воздействия на формирование и развитие паренхиматозных органов брюшной полости у детей и подростков.

Ключевые слова: УЗИ, дети, возрастные стандарты, паренхиматозные органы брюшной полости, Курская АЭС, территория проживания

ABSTRACT

Purpose: To define the individual ultrasonic morphometric age standards of the abdominal parenchymatous organs of the children living in the area of Kursk NPP.

Material and methods: The results are presented of ultrasonic examinations of 400 children at the age from 1 year to 17 years 11 months who are living in the area of Kursk NPP. The assessment of the lengths of the right kidney and oblique transverse dimension of the right lobe of the liver & the length of the left kidney and the length of the spleen depending on the age and sex of investigated was produced.

Results: Mathematical models and formulas have been developed for calculating standard ultrasonic morphometric parameters, annual growth of morphometric dimensions of abdominal parenchymatous organs was defined. Moreover, individual regulatory criteria for diagnosis hepatosplenomegaly was developed during the comparison of the length of the right kidney with oblique transverse dimension of the right liver lobe and the length of the left kidney with the length of the spleen.

Conclusion: The obliquely-transverse size of the liver right lobe must match the length of the right kidney as 1:1 for children between 3 and 11 years of age, the length of the spleen corresponds to the left kidney length as 1:1 for children between 2 and 11 years of age. The liver and spleen sizes of those children who are older than 12 should not exceed the length of the right and left kidneys respectively. In addition, it was shown that Kursk NPP operating normally has no negative impact on the formation and development of abdominal parenchymal organs in children and adolescents.

Key words: pediatric ultrasound, age standards, abdominal parenchymatous organs, Kursk NPP, territory of residence

Введение

Развитие и созревание органов и тканей у детей зависит от многих внешних факторов, среди которых радиационный фон имеет большое значение как в плане воздействия на сам организм, так и на генетическую составляющую здоровья ребенка [1, 2]. Профилактика, раннее выявление и лечение заболеваний являются основными приоритетами охраны здоровья в Российской Федерации [3]. Практически все соматические заболевания влияют на размеры,

форму и структуру внутренних органов, поэтому принципиальное значение приобретает объективная оценка этих параметров. Если у взрослых пациентов (старше 18 лет) размеры здоровых органов относительно постоянны, то в детском возрасте, который характеризуется активным ростом организма, имеет место постоянное увеличение размеров органов. Следовательно, разработка объективных критериев нормальных или патологических размеров паренхиматозных и других органов в детском возрасте чрезвычайно важна.

Методами выбора для оценки морфометрических параметров паренхиматозных органов брюшной полости в педиатрической практике являются ультразвуковое и магнитно-резонансное исследование, поскольку они не обладают лучевым повреждающим воздействием на растущий организм ребенка [4–6]. Однако использование УЗИ предпочтительно, в частности при диагностике патологии паренхиматозных органов брюшной полости, поскольку более доступно и не требует, как МРТ, седации для обездвиживания пациента [5].

Одним из критериев определения степени повреждения органа при заболевании является сравнение его морфометрических и морфофункциональных параметров с нормой. В отечественной и зарубежной литературе имеются работы, посвященные разработке ультразвуковых морфометрических стандартов паренхиматозных органов у детей с представлением табличных значений изменения параметров в зависимости от возраста, пола или роста ребенка [7–10]. Однако при анализе этих таблиц была обнаружена высокая вариабельность признаков в зависимости от региональной принадлежности обследуемых. К примеру, отмечались различия для детей из региона Юго-Восточной Азии и Северной Америки, причем разница между показателями составляла до 200 % [6, 11]. Кроме того, необходимо учитывать разницу в антропометрическом развитии детей одного возраста, что вызывает необходимость использования индивидуальных стандартизованных ультразвуковых морфометрических показателей паренхиматозных органов брюшной полости, которые в литературе нами не обнаружены.

Исходя из вышеизложенного, была сформулирована цель нашего исследования: определение индивидуальных региональных возрастных стандартизованных показателей ультразвуковой морфометрии паренхиматозных органов брюшной полости у детей, проживающих в зоне размещения Курской АЭС.

Материал и методы

Для определения индивидуальных возрастных ультразвуковых морфометрических стандартов правой и левой почек, печени и селезенки в период с 2011 по 2013 годы было проведено проспективное исследование репрезентативной выборки 400 детей, проживающих на территории Курской области вблизи Курской АЭС, которые направлялись на УЗИ педиатрами детских поликлиник Курска и Курчатова (место расположения Курской АЭС) в возрасте от 1 года до 17 лет 11 мес. Количество мальчиков ($n = 195$, 48,75 %) и девочек ($n = 205$, 51,25 %) было примерно одинаковым (табл. 1).

Таблица 1

Распределение обследованных детей по полу и возрасту

Возраст	Мальчики		Девочки		Всего	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
1 год – 1 год 11 мес	7	1,75	6	1,5	13	3,25
2 года – 2 года 11 мес	10	2,5	9	2,25	19	4,75
3 года – 3 года 11 мес	11	2,75	11	2,75	22	5,5
4 года – 4 года 11 мес	14	3,5	15	3,75	29	7,25
5 лет – 5 лет 11 мес	14	3,5	19	4,75	33	8,25
6 лет – 6 лет 11 мес	20	5,0	13	3,25	33	8,25
7 лет – 7 лет 11 мес	18	4,5	19	4,75	37	9,25
8 лет – 8 лет 11 мес	10	2,5	15	3,75	25	6,25
9 лет – 9 лет 11 мес	13	3,25	12	3,0	25	6,25
10 лет – 10 лет 11 мес	9	2,25	15	3,75	24	6,0
11 лет – 11 лет 11 мес	20	5,0	20	5,0	40	10,0
12 лет – 12 лет 11 мес	16	4,0	20	5,0	36	9,0
13 лет – 13 лет 11 мес	8	2,0	6	1,5	14	3,5
14 лет – 14 лет 11 мес	5	1,25	7	1,75	12	3,0
15 лет – 15 лет 11 мес	5	1,25	6	1,5	11	2,75
16 лет – 16 лет 11 мес	8	2,0	6	1,5	14	3,5
17 лет – 17 лет 11 мес	7	1,75	6	1,5	13	3,25
ИТОГО:	195	48,75	205	51,25	400	100

Из таблицы следует, что наибольшую возрастную группу составили дети младшего и старшего школьного возраста от 6 лет до 12 лет 11 мес ($n = 220$, 55,0 %). Однако дети ясельного возраста и дошкольного возраста (1 год – 5 лет 11 мес; $n = 116$, 29,0 %) и подростки (13 лет – 17 лет 11 мес, $n = 64$, 16 %) представлены вполне достаточно для проведения статистической обработки материала.

Всем детям было проведено комплексное УЗИ органов брюшной полости, которое включало эхографию печени, желчного пузыря, поджелудочной железы, селезенки и почек. Эхография выполнялась на аппаратах GEL5 (США), Medison SonoAce – 8800 (Южная Корея), AlokaSSD 3500 (Япония) конвексными датчиками с частотой ультразвука от 3,5 до 5,0 МГц.

УЗИ органов брюшной полости проводилось натощак в положении ребенка на спине в режиме В-mode, со стороны передней брюшной стенки из стандартных доступов [12, 13]. Оценивались форма, размеры, эхогенность и эхоструктура паренхиматозных органов. Измерялся диаметр сосудов v. CavaInferior, v. Portae и v. Lienalis, а также диаметр общего желчного протока. Ультразвуковая характеристика печени включала измерение косопоперечного размера правой доли (КПП). При исследовании селезенки определялись длина, ширина и толщина органа. Для сравнения эхогенности печени и селезенки их изображение сопоставлялось с соответствующим уровнем серой шкалы и в В|В-режиме.

Осмотр и морфометрия правой почки и правой доли печени с определением косопоперечного разме-

ра выполнялись из подреберного доступа по правой передне- и средне-подмышечной линиям. Из данного доступа производилось измерение длины правой почки и косопоперечного размера правой доли печени.

Для исследования левой почки и селезенки датчик устанавливался на уровне 9–11 ребер по левой средне-подмышечной линии продольно, с получением одномоментного изображения селезенки и левой почки. Производилось измерение длины левой почки, а также длины и ширины селезенки, оценивалось состояние паренхимы органов. Ширина селезенки определялась на уровне середины длины органа, кроме того проводилась оценка ширины на уровне верхнего и нижнего полюса органа. После этого датчик поворачивался на 90° и измерялась толщина органа.

Для определения индивидуальных стандартов размеров печени и селезенки проводилось сравнение косопоперечного размера правой доли печени (КПП) с длиной правой почки (ДПП), а длина селезенки (ДС) сопоставлялась с длиной левой почки (ДЛП).

Статистическая обработка материала проводилась с помощью методов непараметрической статистики на основе анализа количественных, качественных и порядковых величин. Количественные данные представлены в виде $M \pm m$, где M – медиана, m – стандартное отклонение.

Сравнения количественных показателей проводились с определением U-критерия Манна–Уитни. Различия считались значимыми при уровне $p \leq 0,05$. Степень связи между изучаемыми явлениями определяли с помощью коэффициента корреляции по формуле Спирмена (r) для количественных данных. Для оценки связи между признаками, построения моделей и вычисления уравнений зависимости использовались методы множественной регрессии. Показатели связи считались значимыми при уровне $p \leq 0,05$. Обработка материала производилась с использованием пакета программ Statistica 6.0 (Statsoftcorp., США) и Microsoft Excel 2010 (США).

Результаты и обсуждение

Для определения индивидуальных ультразвуковых возрастных стандартов и для оценки состояния внутренних органов были проведены УЗИ 400 детей в возрасте от 1 года до 17 лет 11 мес, в ходе которых была произведена оценка длины правой (ДПП) и левой почки (ДЛП) у детей в зависимости от пола и возраста (рис. 1).

Для оценки зависимости длины правой и левой почек от возраста ребенка были разработаны математические модели с помощью методики множественной регрессии и определены формулы для расчета нормативных значений.

Для правой почки была получена формула:

$$\text{ДПП} = 57,15 + 4,05 \times V \pm 3,8, \text{ мм}, \quad (1)$$

где ДПП – длина правой почки в мм, V – возраст ребенка в годах. Для данной модели были определены следующие статистические показатели: $\text{MultipleR} = 0,976$ $F = 8004$; $p \leq 0,001$.

Для левой почки была получена формула:

$$\text{ДЛП} = 58,45 + 3,98 \times V \pm 4,3, \text{ мм}, \quad (2)$$

где ДЛП – длина левой почки в мм, V – возраст ребенка в годах. Для данной модели были получены следующие статистические показатели: $\text{MultipleR} = 0,968$; $F = 5990$; $p \leq 0,001$.

Наши исследования показали, что длина левой почки у ребенка в возрасте 1 года больше длины правой почки, поскольку значения ДПП колебались в доверительном интервале диапазона 57,4 – 65,0 (мм), а ДЛП – соответственно в интервале от 58,1 мм до 66,8 мм. Однако этот показатель не был статистически достоверным ($p > 0,5$).

Ежегодное увеличение длины почек также было неодинаково: для правой почки оно составило $4,1 \pm 0,7$ мм (от 3,4 мм до 4,7 мм), а для левой почки – $4,0 \pm 0,6$ мм (от 3,4 мм до 4,6 мм).

При ультразвуковом исследовании печень в 392 из 400 случаев (98 %) определялась как орган средней эхогенности с однородной эхотекстурой. У 8 чел. (2 %) имело место повышение эхогенности, что во всех случаях было связано с избыточным весом ребенка. У этих детей также отмечалось повышение эхогенности поджелудочной железы, при этом эхогенность селезенки была ниже эхогенности печени.

При сравнении значений косопоперечного размера правой доли печени (КПП) у мальчиков и де-

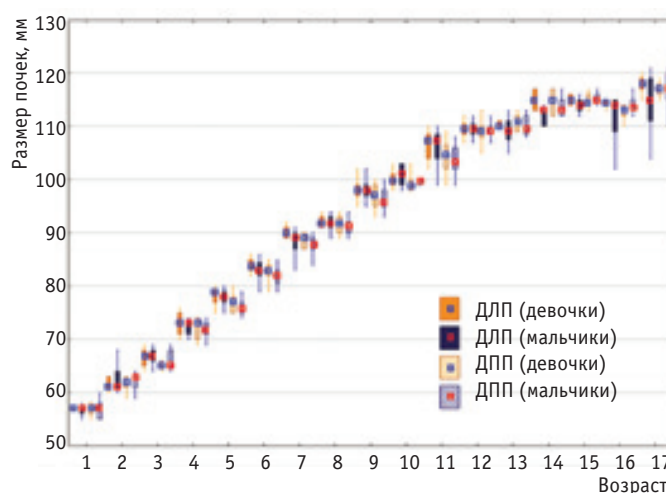


Рис. 1. Динамика изменения длины правой и левой почек у мальчиков и девочек в зависимости от возраста ($n = 400$)

вочек были получены данные, свидетельствующие об отсутствии достоверных отличий в зависимости от пола ($p > 0,1$). График динамики КПП в зависимости от возраста и пола представлен на рис. 2.

Для оценки зависимости косопоперечного размера правой доли печени от возраста ребенка была разработана математическая модель с помощью методики множественной регрессии и определена формула для расчета нормативных значений:

$$\text{КПП} = 61,88 + 3,22 \times B \pm 6,0, \text{ мм}, \quad (3)$$

где КПП — косопоперечный размер правой доли печени, B — возраст ребенка в годах. Для данной модели были получены следующие статистические показатели: $\text{MultipleR} = 0,913$; $F = 2004$; $p \leq 0,001$.

Наши исследования показали, что ежегодное увеличение КПП составляло $3,2 \pm 0,6$ мм (от 2,6 до 3,9 мм).

При сравнении ДПП и КПП была выявлена сильная положительная корреляционная связь ($R = 0,927$; $p < 0,05$). Результаты представлены на рис. 3.

Из графика следует, что у детей в возрасте до 6 лет КПП преобладает над длиной правой почки, однако КПП достоверно больше только у обследованных в возрасте до двух лет, что, вероятно, связано с разницей в размерах органов при рождении. У детей старше 11 лет КПП достоверно меньше ДПП ($p < 0,05$). Следовательно, учитывая сильную корреляционную связь между этими параметрами, можно считать, что ДПП соответствует КПП у детей в возрасте от 3 до 11 лет как 1 : 1. Это можно расценивать как индивидуальный морфометрический критерий при диагностике изменений размеров печени или длины почки.

При УЗИ селезенка визуализировалась как орган бобовидной формы с вогнутым внутренним краем. Эхогенность паренхимы селезенки была равна эхогенности неизменной печени, ее эхотекстура — мелкозернистой. Соотношение длины, ширины и толщины органа составило 2,1 : 1,0 : 0,9, что соответствует данным литературы [4, 9].

V. Lienalis определялась в области ворот селезенки или на границе между средней и верхней третью органа, диаметр ее не превышал 6,0 мм. Увеличенные лимфатические узлы в воротах селезенки не визуализировались.

При проведении статистического анализа было выявлено отсутствие достоверных отличий между длиной селезенки у мальчиков и девочек ($p > 0,5$). График динамики ДС в зависимости от возраста и пола представлен на рис. 4.

Для оценки зависимости ДС от возраста ребенка была разработана математическая модель с помощью методики множественной регрессии и определена формула для расчета нормативных значений:

$$\text{ДС} = 60,87 + 3,34 \times B \pm 5,8 \text{ мм}, \quad (4)$$

где ДС — длина селезенки в мм, B — возраст ребенка в годах. Для данной модели были получены следующие статистические показатели: $\text{MultipleR} = 0,925$; $F = 2354$; $p \leq 0,001$.

Ежегодное увеличение ДС составило $3,3 \pm 0,7$ мм (от 2,6 мм до 4,0 мм).

При сравнении ДЛП и ДС была определена сильная положительная корреляционная связь ($R = 0,936$; $p < 0,05$). Результаты представлены на рис. 5.

Наши исследования показали, что у детей в возрасте до 4 лет ДС преобладает над ДЛП, однако достоверные отличия наблюдаются только у обследованных в возрасте от 1 года до 2 лет, что связано с разницей в размерах органов при рождении. У детей старше 11 лет ДС была достоверно меньше ДЛП ($p < 0,05$). Следовательно, учитывая сильную корреляционную связь между этими параметрами, можно считать, что ДС соответствует ДЛП у детей в возрасте от 2 до 11 лет как 1 : 1. Этот показатель можно расценивать как индивидуальный морфометрический критерий при диагностике изменений размеров селезенки и почки. Исходя из формулы нормального соотношения длины, ширины и толщины селезенки (2,1 : 1,0 : 0,9), и имея возрастной норматив длины, можно вычислить нормальную ширину и толщину органа. Определение длины, толщины и ширины селезенки имеет важное диагностическое значение, поскольку спленомегалия может проявляться изменением только одного из трех перечисленных параметров.

Учитывая громоздкость вычисленных формул и их трудоемкость для использования в повседневной клинической работе, наиболее удобным нам представляется использование следующих индивидуальных нормативных критериев размеров печени и селезенки. У детей в возрасте от 3 до 11 лет косопоперечный размер правой доли печени должен соответствовать длине правой почки как 1 : 1, а длина селезенки у детей в возрасте от 2 до 11 лет должна соответствовать длине левой почки как 1 : 1. У детей старше 12 лет размеры печени и селезенки не должны превышать размеры правой и левой почек соответственно. Превышение нормативных показателей трактуется как проявление гепатомегалии или спленомегалии.

Кроме того, изменение соотношения между длиной, шириной и толщиной селезенки (в виде избирательного увеличения ширины и/или толщины органа при сохранении нормативного показателя длины селезенки) также должно расцениваться как проявление спленомегалии.

При сопоставлении полученных результатов с данными литературы схожие с нашими значения получены у ряда авторов [6–8]. Однако наши дан-

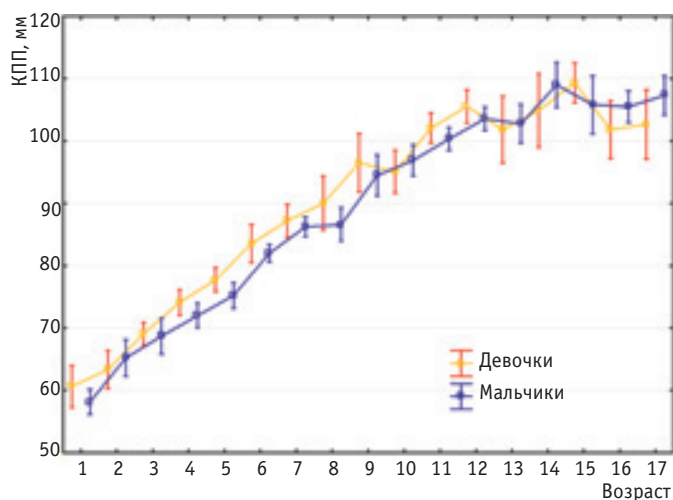


Рис. 2. Динамика изменения косопоперечного размера правой доли печени в зависимости от пола и возраста ($n = 400$)

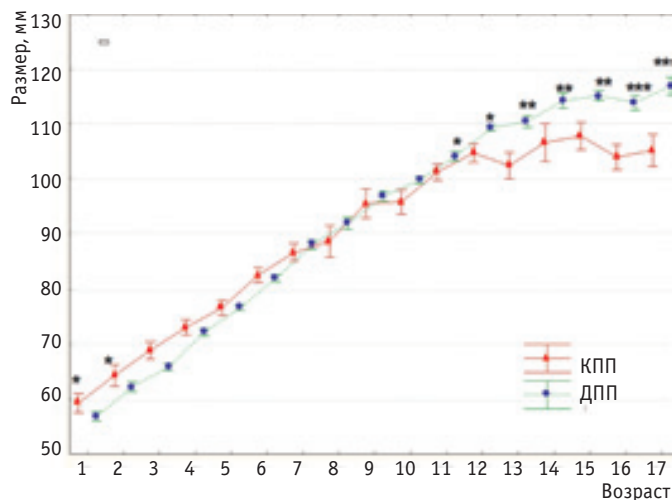


Рис. 3. Зависимость косопоперечного размера правой доли печени (КПП) и длины правой почки (ДПП) от возраста ребенка (* — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$)

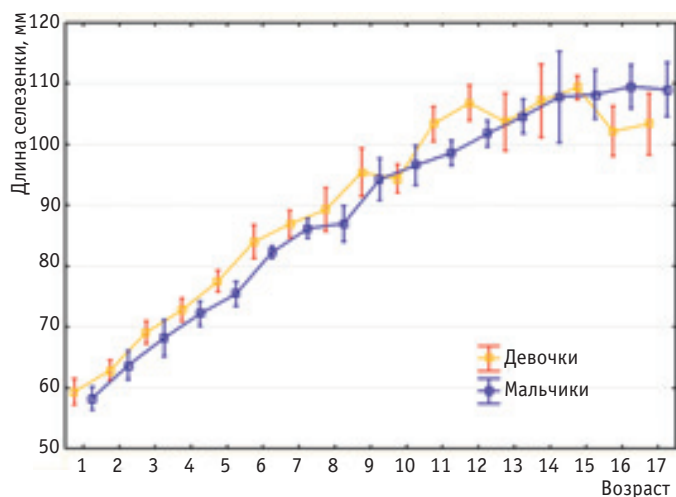


Рис. 4. Динамика изменения длины селезенки в зависимости от пола и возраста ($n = 400$)

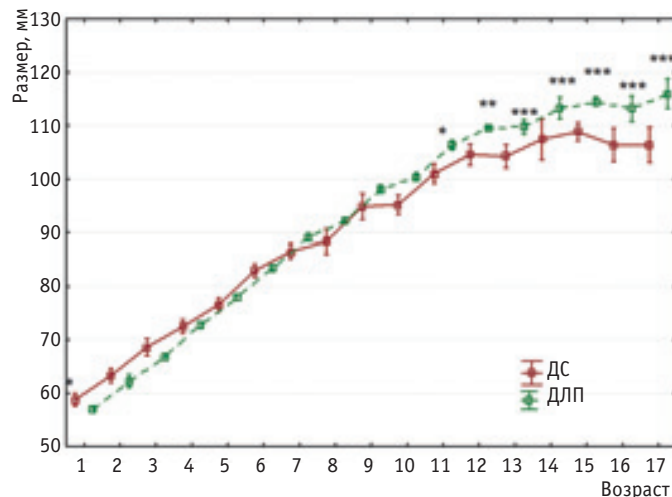


Рис. 5. Зависимость длины селезенки (ДС) и длины левой почки (ДЛП) от возраста ребенка (* — $p \leq 0,05$; ** — $p \leq 0,01$; *** — $p \leq 0,001$)

ные значительно отличаются от результатов Bruyn R. (2005) для популяций региона Юго-Восточной Азии и Северной Америки, что в очередной раз подтверждает необходимость использования региональных стандартов.

Отличием нашей работы стало определение точного ежегодного прироста линейных размеров печени, селезенки и почек. Кроме того, выявленные нами закономерности соотношений КПП к ДПП, а также ДС к ДЛП позволяют сформировать индивидуальные морфометрические стандарты УЗИ паренхиматозных

органов брюшной полости у детей и подростков в возрасте от 1 до 18 лет.

Наши исследования показали, что размеры паренхиматозных органов брюшной полости у детей, проживающих в зоне действия Курской АЭС статистически достоверно не отличаются от аналогичных показателей у детей, проживающих в других регионах европейской части РФ. Следовательно, работающая в штатном режиме Курская АЭС не оказывает статистически достоверного воздействия на формирование и развитие паренхиматозных органов брюшной полости у детей и подростков.

Выводы

1. Разработаны математические модели для определения нормативных линейных размеров печени, селезенки и почек.

2. Ежегодное увеличение длины правой почки должно составлять $4,1 \pm 0,7$ мм, левой почки — $4,0 \pm 0,6$ мм

3. Ежегодное увеличение косопоперечного размера правой доли печени должно составлять $3,2 \pm 0,6$ мм; ежегодное увеличение длины селезенки — $3,3 \pm 0,7$ мм.

4. У детей в возрасте от 3 до 11 лет косопоперечный размер правой доли печени должен соответствовать длине правой почки как 1 : 1; длина селезенки у детей в возрасте от 2 до 11 лет должна соответствовать длине левой почки как 1 : 1. У детей старше 12 лет размеры печени и селезенки не должны превышать размеры правой и левой почек соответственно.

5. Работающая в штатном режиме Курская АЭС не оказывает отрицательного воздействия на формирование и развитие паренхиматозных органов брюшной полости у детей и подростков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лягинская А.М., Романов В.В. и соавт. Состояние здоровья населения, проживающего вблизи Смоленской АЭС // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2015. Т. 60. № 2. С. 25–36.
2. Шандала Н.К., Коренков И.П., Романов В.В. Состояние радиационно-гигиенической обстановки в районе размещения АЭС. // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2015. Т. 60. № 2. С. 15–21.
3. Федеральный закон Российской Федерации от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». Ст. 7.
4. Васильев А.Ю., Выключ М.В., Зубарева Е.А. и соавт. Лучевая диагностика в педиатрии: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2010. 368 с.
5. Труфанов Г.Е., Фокин В.А. и соавт. Особенности применения методов лучевой диагностики в педиатрической практике. // Вестник современной клинич. мед. 2013. Т. 6. № 6. С. 48–54.
6. Bates A.J. Abdominal Ultrasound. How, Why and When. 2 ed. Churchill Livingstone. 2004. 297 pp.
7. Дворяковский И.В., Найдина Т.К., Сугак А.Б. и соавт. Возрастные параметры почек у детей по данным ультразвукового исследования // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2004. № 1. С. 30–35.
8. Найдина Т.К., Дворяковский И.В., Сугак А.Б. Нормальные возрастные размеры желчного пузыря, печени и поджелудочной железы у детей по данным эхографии. // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001. № 4. С. 57–63.
9. Суменко В.В., Возгомент О.В., Пыков М.И. Нормативные эхографические показатели селезенки у здоровых детей Оренбургской области и факторы, влияющие на них. // Детская больница. 2013. № 2. С. 16–22.
10. Трефилов А.А., Иванова И.Е., Родионов В.А. Ультразвуковые нормативы размеров почек у детей Чувашской Республики // Здравоохранение Чувашии. 2011. № 4. http://giduv.com/journal/2011/4/ultrazvukovye_normativy_data_obrasheniya_15.06.2015
11. Bruyn R. Pediatric ultrasound: how, why and when. Edinburgh: Elsevier. 2005. 374 p.
12. Блок Б. Цветной атлас ультразвуковых исследований. М.: МЕДпресс-информ. 2013. 328 с.
13. Воротынцева Н.С., Зозуля М.Ю., Зозуля А.Ю. Способ ультразвуковой диагностики воспалительных изменений печени и селезенки при туберкулезе у детей. / Патент на изобретение № 2535613 от 05.11.2013 г.

Поступила: 25.06.2015

Принята к публикации: 14.12.2015

Г.Е. Ройтберг¹, С.В. Усичкин¹, А.В. Бойко²**КРУПНОФРАКЦИОННАЯ ДИСТАНЦИОННАЯ ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ
РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ****G.E. Roytberg¹, S.V. Usyckin¹, A.V. Boiko²****Extreme Hypofractionated External-Beam Radiotherapy for Prostate Cancer**

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Гипофракционирование является одним из направлений нетрадиционного фракционирования дозы при дистанционной лучевой терапии рака предстательной железы. Сокращение количества сеансов лечения с одновременным увеличением дозы за фракцию преследует цель не только повысить удобство лечения для пациента (сокращение числа ежедневных визитов в клинику) и оптимизировать затраты на проведение лечения, но и достигнуть более высоких показателей контроля опухоли. Увеличение дозы за фракцию позволяет увеличить биологически эффективную дозу для клеток аденокарциномы предстательной железы и служить биологическим радиомодификатором, при этом изоэффективная доза для нормальных тканей остается на прежнем уровне. Крупнофракционное облучение с разовой очаговой дозой от 7 до 8 Гр (5 сеансов до суммарной очаговой дозы 35–40 Гр) у 80–90 % пациентов с локализованным раком предстательной железы всех групп риска позволяет достичь перманентного биохимического контроля опухоли. Современные высокоточные технологии планирования и доставки дозы (IMRT, VMAT) с контролем положения мишени облучения в режиме on-line (IGRT, tracking) в сочетании с дополнительными системами иммобилизации предстательной железы (эндоректальные баллоны, а также так называемые «спейсеры», внедряемые между предстательной железой и стенкой прямой кишки) являются обязательным условием безопасной реализации крупнофракционного облучения предстательной железы. В многочисленных исследованиях 2-й фазы, завершающихся к настоящему времени, продемонстрировано, что в клиниках с достаточно высоким уровнем технического оснащения крупнофракционное облучение предстательной железы не сопровождается увеличением частоты тяжелых поздних лучевых повреждений и может применяться вне рамок клинических исследований как альтернатива лучевой терапии в режиме классического фракционирования дозы.

Ключевые слова: дистанционная лучевая терапия, крупное фракционирование, рак предстательной железы, гипофракционирование

Hypofractionation is one of the approaches in the non-classical fractionation of prostate cancer external-beam radiotherapy. The purpose of hypofractionation is not only to make the treatment more comfortable for the patient (less daily visits to the treatment center) and more cost-effective but also to increase the local tumor control as well. High dose per fraction increases a biologically effective dose for prostate adenocarcinoma cells and works as a biological radiosensitizer while isoeffective dose for normal tissues remains unchanged. In 80–90 % of patients with localized prostate cancer treated with extremely hypofractionated radiotherapy (7 to 8 Gy dose per fraction, 5 fractions to the total dose of 35–40 Gy) a permanent biochemical tumor control is achieved. The modern high-precision treatment planning and treatment delivery techniques (IMRT, VMAT) as well as on-line target tracking and image guidance (IGRT) coupled with additional systems of internal prostate immobilization (endorectal balloons and «spacers» inserted between prostate and rectal wall) are prerequisite conditions for extreme hypofractionated radiotherapy. Completed recently multiple studies of phase 2 have demonstrated that extremely hypofractionated prostate radiotherapy did not increase the rate of serious late toxicity if it is performed in the clinics with high level of modern technical equipment Image-Guided Radiotherapy. For this reason it can be used as an alternative to the conventionally fractionated radiotherapy.

Key words: external-beam radiotherapy, extreme fractionation, prostate cancer, hypofractionation

Введение

Рак предстательной железы (РПЖ) является одной из наиболее распространенных локализаций злокачественных новообразований у мужчин и ведущей причиной смертности от рака. РПЖ занимает второе место в структуре заболеваемости злокачественными новообразованиями (ЗНО) у мужчин в России (12,1 %), уступая только раку легкого, при этом среднегодовой темп прироста заболеваемости (8,45 %) является самым высоким среди всех ЗНО [1]. Благодаря

внедрению программ ПСА-скрининга в последние два десятилетия РПЖ значительно чаще стал диагностироваться на ранних стадиях, что привело к улучшению показателей выживаемости пациентов с этим заболеванием. Ежегодное исследование уровня ПСА у мужчин старше 40 лет в подавляющем большинстве случаев позволяет обнаружить злокачественную опухоль без распространения за пределы предстательной железы, т.е. локализованный РПЖ. Основными факторами риска заболеваемости являются возраст, этническая принадлежность и наличие заболевания

¹ Клиника ОАО «Медицина», Москва.

E-mail: usyckin.s@medicina.ru

² Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена Минздрава России, Москва

¹ JSC «Medicina», Moscow, Russia.

E-mail: usyckin.s@medicina.ru

² P.A. Herzen Moscow Scientific-Research Oncological Institute, Moscow, Russia

у близких родственников. Более 70 % случаев РПЖ диагностируются у мужчин старше 65 лет.

Дистанционная лучевая терапия (ДЛТ) является одним из методов локальной терапии РПЖ, к которым относятся радикальная простатэктомия, внутритканевая брахитерапия имплантируемыми источниками ^{125}I с низкой мощностью дозы, внутритканевая брахитерапия источниками ^{192}Ir с высокой мощностью дозы, а также другие, менее распространенные методики.

ДЛТ в режиме классического фракционирования дозы (1,8–2,0 Гр за сеанс до суммарной дозы 78–86,4 Гр, т.е. от 39 до 48 сеансов), в отличие от радикальной простатэктомии и брахитерапии, является неинвазивным методом лечения РПЖ, который не требует госпитализации, общей анестезии, не связан с кровопотерей, поэтому может с успехом применяться у пациентов с выраженной сопутствующей патологией. Кроме того, данный метод лечения применяется у пациентов во всех группах риска РПЖ по общепринятой классификации D'Amico (при любых показателях Глисона, ПСА, в том числе при местно-распространенном раке предстательной железы) [2, 3]. Тем не менее, вопрос выбора того или иного метода локальной терапии РПЖ в зависимости от стадии, распространенности опухоли, степени злокачественности, а также необходимости максимальной андрогенной блокады и ее длительности в различных группах риска остается нерешенным [4].

Вопрос о суммарной очаговой дозе ДЛТ, необходимой для полной эрадикации опухоли в предстательной железе, также остается нерешенным. В нескольких рандомизированных клинических исследованиях было продемонстрировано, что увеличение суммарной дозы облучения выше 70 Гр, считавшейся стандартной около 20 лет назад, позволяет достичь более высоких показателей локального контроля опухоли, выживаемости без биохимического рецидива, выживаемости без отдаленных метастазов [5–7]. Однако увеличение суммарной дозы на предстательную железу по технологии конвенциональной трехмерной конформной лучевой терапии (3D-CRT) связано с высоким риском острых и поздних лучевых повреждений нормальных тканей — прямой кишки, мочевого пузыря и уретры.

Увеличение суммарной очаговой дозы стало возможным после появления новой технологии планирования и подведения дозы — лучевой терапии с модуляцией интенсивности излучения (IMRT). Конформное распределение дозы значительно снижает риск лучевых повреждений прямой кишки и мочевого пузыря. В клиническом исследовании эскалации суммарной очаговой дозы на предстательную железу и семенные пузырьки до 86,4 Гр (с разовой очаговой дозой 1,8 Гр) по технологии IMRT с контролем и коррекцией погрешности укладки перед каждым сеансом облучения

(лучевая терапия с визуальным контролем, IGRT) 7-летняя выживаемость без биохимического рецидива у пациентов с локализованным РПЖ составила 98,8, 85,6 и 67,9 % в группах низкого, промежуточного и высокого рисков соответственно. Поздние лучевые повреждения 2-й степени и выше по шкале RTOG со стороны прямой кишки отмечены у 4,4 % пациентов, со стороны мочеполовой системы — у 21,1 % пациентов [8].

Дальнейшая эскалация суммарной очаговой дозы при классическом фракционировании ограничена толерантностью нормальных тканей. Более того, общая продолжительность курса радикальной ДЛТ РПЖ составляет от 8 до 9,5 нед, что не всегда удобно как для пациентов (необходимость ежедневных визитов в клинику в течение длительного времени), так и для лечебных учреждений (высокие затраты на обеспечение процесса лечения).

Для преодоления этих ограничений были разработаны различные режимы нетрадиционного фракционирования дозы, выполняющие роль биологического радиомодификатора, позволяющего избирательно усилить повреждающее действие ДЛТ на клетки РПЖ [9, 10]. Сочетание нетрадиционного фракционирования дозы с такими радиомодификаторами как гипертермия также позволяет повысить эффективность ДЛТ у пациентов с РПЖ [11].

Одним из направлений в нетрадиционном фракционировании дозы являются различные режимы гипофракционной ДЛТ, в которых суммарная очаговая доза подводится за меньшее число сеансов облучения, при этом частота лучевых повреждений не увеличивается или даже снижается [12].

Гипофракционирование в лучевой терапии рака предстательной железы

В современной радиобиологии, основанной на линейно-квадратичной модели (ЛКМ), коэффициент α/β , определяемый как доза, при которой линейный компонент α (летальные повреждения ДНК клеток) и квадратичный компонент β (сублетальные повреждения ДНК клеток) модели равны, используется для оценки чувствительности как опухоли, так и нормальных тканей к режиму фракционирования. Для большинства злокачественных опухолей противоопухолевый эффект облучения характеризуется коэффициентом α/β более 7 Гр, в то время как для поздних лучевых повреждений нормальных тканей коэффициент α/β составляет от 1 до 6 Гр. Brenner и Hall, анализируя показатели контроля опухоли после брахитерапии РПЖ с использованием источников низкой мощности дозы и ДЛТ, впервые высказали гипотезу о чрезвычайно низком коэффициенте α/β для клеток аденокарциномы предстательной железы, равному по их оценке примерно 1,5 Гр [13]. В многочисленных

последующих работах было получено подтверждение необычно низкого для злокачественных опухолей коэффициента α/β при гипофракционном облучении РПЖ [14–16]. Такой низкий коэффициент α/β для клеток РПЖ говорит о том, что увеличение дозы за сеанс облучения дает более высокий противоопухолевый эффект относительно эффекта повреждения нормальных тканей. Иными словами, гипофракционирование является биологическим радиомодификатором, с помощью которого можно создать существенный радиотерапевтический интервал между нормальными тканями и опухолью.

Одной из наиболее распространенных схем умеренного гипофракционирования при РПЖ стала схема с СОД 70 Гр и РОД 2,5 Гр, при которой общая длительность курса лечения сокращается до 5,5 нед. Биологически эффективная доза (BED) для клеток РПЖ с коэффициентом α/β , равным 1,5 Гр, составляет 186,7 Гр_{1,5}, что эквивалентно схеме с СОД 80,0 Гр при РОД 2,0 Гр. Рассчитанная BED для нормальных тканей (прямая кишка, мочевой пузырь) с коэффициентом α/β , равным 3,0 Гр, намного ниже и составляет 128,3 Гр_{1,5}, что эквивалентно схеме с СОД 76,0 Гр при РОД 2,0 Гр. Таким образом, при использовании данной схемы возникает заметный радиотерапевтический интервал между клетками опухоли и нормальными тканями. Первые клинические результаты этой схемы фракционирования были опубликованы Kupelian et al. в 2007 г. [17]. 5-летняя выживаемость без биохимического рецидива в группах пациентов с низким, промежуточным и высоким риском РПЖ составила соответственно 94, 83 и 72 %. Поздние лучевые повреждения со стороны прямой кишки 2-й степени и выше по шкале RTOG/EORTC были отмечены у 4,5 % пациентов, со стороны мочеполовой системы — у 5,2 % пациентов. В сравнении с результатами ДЛТ до максимальной СОД 86,4 Гр в режиме классического фракционирования дозы отмечается более низкая частота поздних осложнений со стороны мочеполовой системы, при этом показатели биохимического контроля опухоли остаются неизменно высокими.

Сравнительные рандомизированные исследования схем умеренного гипофракционирования (с разовой очаговой дозой до 4,0 Гр) и схем классического фракционирования дозы с достаточно длительным периодом динамического наблюдения после ДЛТ подтвердили, что высокие показатели локального и биохимического контроля могут быть достигнуты за меньшее число сеансов лечения (от 20 до 28), при этом частота острых и поздних лучевых повреждений не изменяется по сравнению с режимами классического фракционирования дозы.

Одно из первых рандомизированных исследований гипофракционирования при РПЖ было проведено в Австралии среди 217 пациентов с локализованным РПЖ. В исследовании две группы пациентов

получали гипофракционное облучение предстательной железы до СОД 55 Гр за 20 фракций (2,75 Гр за фракцию) или конвенциональное облучение до СОД 64 Гр за 32 фракции. Планирование проводилось по методике 2D и 3D с отступами 1,5–2,0 см от видимых границ предстательной железы. При медиане наблюдения 7,5 лет показатели выживаемости без биохимического рецидива были достоверно выше в группе гипофракционирования по сравнению с классическим фракционированием (53 % против 34 %), при этом не было отмечено различий в показателях частоты острых и поздних лучевых повреждений между исследованными схемами фракционирования [18]. Недостатком данного исследования является отсутствие стратификации пациентов по общепринятым в настоящее время группам риска, а также устаревшие методики планирования облучения, не позволявшие использовать высокие суммарные дозы облучения.

В крупном многоцентровом рандомизированном исследовании СННiP, проводившемся в 11 клиниках в Англии, сравнивались схемы классического фракционирования до СОД 74 Гр с гипофракционными схемами с разовой очаговой дозой 3,0 Гр до СОД 57–60 Гр у 457 пациентов с локализованным РПЖ низкого и промежуточного риска. Планирование проводилось как по технологии 3DCRT, так и по технологии IMRT, при этом верификация положения мишени осуществлялась только по портальным снимкам, без имплантации маркеров в предстательную железу, отступы от клинического объема мишени составляли от 0,5 до 1,0 см. При медиане наблюдения 50,5 мес не было выявлено значимых различий в частоте острых и поздних лучевых повреждений между тремя исследованными группами пациентов [19].

В еще одном рандомизированном исследовании было проведено сравнение схемы гипофракционирования до СОД 62 Гр за 20 сеансов (РОД 3,1 Гр) и схемы классического фракционирования до СОД 80 Гр за 40 сеансов среди 168 пациентов с локализованным РПЖ высокого риска [20]. Лечение проводилось по современной технологии 3DCRT с отступами 0,6–1,0 см от границ клинического объема мишени (предстательная железа с семенными пузырьками), с контролем положения пациента только по ортогональным снимкам, без внедрения маркеров в предстательную железу. Также все пациенты получали лечение агонистами ЛГРГ в течение, по крайней мере, 9 мес. При медиане наблюдения 70 мес не было обнаружено статистически значимых различий в показателях выживаемости без биохимического рецидива (85 % против 79 %), без локального рецидива (93 % против 91 %) и без отдаленных метастазов (90 % против 86 %) в исследованных группах гипофракционирования и классического фракционирования, соответственно [21]. При медиане наблюдения 32–35 мес острые лучевые реакции 2-й степени и выше со стороны мочеполовой системы

отмечены у 40 % в группе классического фракционирования и у 47 % в группе гипофракционирования, острые лучевые реакции 2-й степени и выше со стороны прямой кишки у 21 % в группе классического фракционирования и у 35 % в группе гипофракционирования. Было отмечено, что острые лучевые реакции развиваются раньше в группе гипофракционирования, однако при нормализации по общему времени лечения не было обнаружено достоверных различий в частоте острых лучевых реакций между группами. Поздние лучевые повреждения встречались с одинаковой частотой в обеих исследованных группах пациентов (6 % и 8 % поздние лучевые повреждения 2-й степени и выше со стороны мочеполовой системы, 12 % и 14 % поздние лучевые повреждения 2-й степени и выше со стороны прямой кишки в группах классического фракционирования и гипофракционирования соответственно) [22]. Это исследование, с одной стороны, наглядно продемонстрировало изоэффективность двух схем фракционирования как в отношении показателей локального биохимического контроля опухоли, так и в отношении частоты поздних осложнений. С другой стороны, достаточно высокие показатели острых лучевых реакций и поздних лучевых повреждений при использовании технологии 3DCRT без IGRT говорят о необходимости применения при гипофракционном облучении более совершенных технологий планирования и доставки дозы, существующих в настоящее время.

Клинические исследования крупнофракционной дистанционной лучевой терапии рака предстательной железы

Крупнофракционная дистанционная лучевая терапия (КФДЛТ) по методике IGRT, также называемая стереотаксической экстракраниальной радиотерапией (SBRT) или стереотаксической аблативной радиотерапией (SABR), подразумевает подведение суммарной дозы облучения за еще меньшее, по сравнению с умеренным гипофракционированием, количество сеансов лечения (не более 5) и значительно более высокие разовые очаговые дозы (от 6,5 Гр до 10 Гр за сеанс облучения) [23–25]. При этом обязательным условием является более высокая прецизионность и точность облучения мишени, чем при классическом фракционировании и умеренном гипофракционировании, что подразумевает использование технологий модуляции интенсивности излучения (IMRT), а также точное позиционирование мишени облучения с коррекцией погрешностей в режиме on-line на столе линейного ускорителя (IGRT).

В рамках линейно-квадратичной модели более высокая разовая доза за меньшее число фракций расширяет радиотерапевтический интервал между клетками РПЖ и нормальными тканями. Например, для

схемы с РОД 7,25 Гр до СОД 36,25 Гр за 5 фракций BED равна 211,5 Гр_{1,5}, что эквивалентно СОД 90 Гр с РОД 2,0 Гр. Следовательно КФ-ДЛТ дает возможность дальнейшей эскалации суммарной очаговой дозы, превышающей максимально толерантную СОД 78–86,4 Гр при классическом фракционировании. Более того, исследования высоких разовых доз облучения как в лабораторных экспериментах, так и в клинических условиях продемонстрировали, что механизм действия аблативной ДЛТ отличается от механизма действия классической фракционной ДЛТ и связан с воздействием на эндотелий сосудов опухоли [26]. Таким образом, исходя из радиобиологических предпосылок, крупнофракционная лучевая терапия РПЖ может оказаться более эффективным методом по сравнению с классическим фракционированием и умеренным гипофракционированием.

Первая публикация, в которой были представлены клинические результаты ДЛТ с экстремальным гипофракционированием при РПЖ, относится к 1991 г. [27]. В ней авторы из St. Thomas Hospital приводят результаты анализа выживаемости и частоты осложнений среди 232 пациентов с локализованным РПЖ, получавших ДЛТ до СОД 36 Гр с РОД 6 Гр на протяжении 18 дней. Лечение проводилось на линейном ускорителе и гамма-терапевтическом аппарате по 3- и 4-польной методике облучения в 2D, без использования КТ-симуляции и верификации положения пациента перед сеансом облучения. Вследствие этого облучение проводилось с большими отступлениями от клинических границ предстательной железы, определяемых по рентгеновским снимкам. Поскольку исследование выполнялось в эру, предшествующую внедрению ПСА в клиническую практику, невозможно оценить эффективность данной методики лечения в общепринятых на сегодняшний день терминах (выживаемость без биохимического рецидива, локальный контроль опухоли). Тем не менее, несмотря на очевидное техническое несовершенство методики, которое приводило к облучению больших объемов нормальных тканей до предписанной дозы 36 Гр за 6 сеансов, авторами отмечена удовлетворительная переносимость указанного режима фракционирования. Только у двух пациентов были отмечены серьезные лучевые повреждения в виде стриктур прямой кишки, потребовавшие хирургического вмешательства.

В 1990-е гг. развитие крупнофракционной ДЛТ РПЖ связано, прежде всего, с внутритканевой брахитерапией источниками с высокой и низкой мощностью дозы (HDR-БТ и LDR-БТ). В одном из исследований 5-летняя выживаемость без биохимического рецидива составила 91 и 88 % у пациентов с РПЖ низкого риска, получивших лечение по методике HDR-БТ с СОД 38 Гр за 4 фракции и СОД 42 Гр за 6 фракций, соответственно. Поздние лучевые повреждения 2 степени и выше по шкале СТС 2.0 были от-

мечены у 14 % (учащенное мочеиспускание, дизурия) и 1,5 % (хроническая кровоточивость слизистой прямой кишки) пациентов [28]. Основным недостатком данной методики является инвазивность и необходимость госпитализации, что является особенно неудобным при облучении в течение нескольких дней по методике HDR-БТ.

Появление новых технологий высокоточной лучевой терапии с визуальным контролем (IGRT) в начале 2000-х гг. стало предпосылкой для развития нового направления в ДЛТ РПЖ — стереотаксической аблативной радиотерапии. Впервые теоретическое обоснование возможности облучения РПЖ на роботизированном линейном ускорителе CyberKnife было предложено King C.R. et al. из университетской клиники Стэндфорда в 2003 г. [29]. В последующем также было продемонстрировано, что данная система позволяет создавать распределение дозы, аналогичное распределению дозы при брахитерапии источниками с высокой мощностью дозы, при этом процедура лечения является неинвазивной [30].

К настоящему моменту опубликованы результаты нескольких проспективных клинических исследований крупнофракционной ДЛТ РПЖ. Наиболее популярной схемой фракционирования стала схема облучения предстательной железы и основания семенных пузырьков до СОД 36,25 Гр с РОД 7,25 Гр.

Первые промежуточные результаты проспективного клинического исследования 2-й фазы данной схемы крупнофракционной ДЛТ были опубликованы King C.R. et al. в 2009 г. [31]. В это исследование был включен 41 пациент с РПЖ низкого риска (ПСА < 10 нг/мл, Глисон не более 6, клиническая стадия не выше T_{2b}). Ни один из пациентов не получал терапии агонистами ЛГРГ. Планирование и облучение проводилось на системе CyberKnife. Предписанная доза 36,25 Гр за 5 сеансов была нормализована к 90 % изодозе, покрывающей планируемый объем мишени (PTV). Для создания PTV использовались отступы 5 мм во все стороны, за исключением заднего края (в сторону прямой кишки), где отступ составил 3 мм. При медиане наблюдения 33 мес не было отмечено ни одного случая биохимического рецидива опухоли. У 78 % пациентов с минимальным сроком наблюдения 12 мес был достигнут надир ПСА < 0,4 нг/мл. Поздние лучевые повреждения 2-й степени и выше по шкале RTOG/EORTC были отмечены у 29 % пациентов (со стороны мочеполовой системы), из них у 2 пациентов были отмечены постлучевые стриктуры уретры, потребовавшие хирургического вмешательства. Поздние лучевые ректиты 2-й степени по шкале RTOG/EORTC были отмечены у 15 % пациентов, при этом ни в одном из случаев не было отмечено лучевых ректитов 3-й степени (требующих хирургического вмешательства).

Долгосрочные клинические результаты данного исследования были представлены тем же коллективом авторов в 2012 г. [32]. Среди 67 пациентов с РПЖ низкого риска 4-летняя выживаемость без биохимического рецидива составила 94 %. При медиане наблюдения 2,7 года медиана уровня ПСА составила 0,50±0,72 нг/мл. Поздние лучевые повреждения 3-й степени по шкале RTOG/EORTC в виде тяжелой дизурии (не полной обструкции), потребовавшие повторных процедур бужирования уретры, отмечены у 2 пациентов (3,5 %). У большей части пациентов не отмечено никаких симптомов по сравнению с уровнем до начала лечения (68 %), у 28 % пациентов отмечены незначительно и умеренно выраженные дизурические симптомы поздних лучевых повреждений со стороны мочеполовой системы, поддающиеся консервативному лечению (1-й и 2-й степени по шкале RTOG/EORTC, у 23 и 5 % пациентов соответственно). Ни у одного из пациентов не отмечено поздних лучевых повреждений прямой кишки 3-й степени, у 84 % не отмечено никаких симптомов поздних лучевых изменений, у 14 % — симптомы 1-й степени (незначительные симптомы, не требующие специального лечения), у 2 % — симптомы 2-й степени (умеренно выраженные, купируемые при консервативной терапии).

Наиболее крупное проспективное исследование данной схемы крупнофракционного облучения (36,25 Гр за 5 фракций) опубликовано авторами из Winthrop University Hospital [33]. В исследование было включено 304 пациента с РПЖ низкого (70 %), промежуточного (26 %) и высокого (4 %) риска. При медиане наблюдения 5 лет у 97 % пациентов в группе низкого риска, 90,7 % промежуточного риска и 74,1 % высокого риска был достигнут полный биохимический контроль опухоли. У 5 пациентов (2 %) в период динамического наблюдения отмечено развитие поздних лучевых повреждений 3-й степени по шкале RTOG/EORTC со стороны мочеполовой системы, 1-й и 2-й степени — у 8 и 9 % пациентов соответственно, отсутствие каких-либо симптомов — у 81 % пациентов. Ни у одного из пациентов не отмечено поздних лучевых повреждений прямой кишки 3-й степени. Помимо объективной оценки симптомов осложнений по шкале RTOG/EORTC, авторами представлен анализ динамики показателей качества жизни пациента по специальному опроснику Expanded Prostate Cancer Index Composite (EPIC). В течение первого года жизни отмечено снижение показателей по основным доменам (симптомы со стороны желудочно-кишечного тракта, со стороны мочеполовой системы) с последующим возвратом к исходному уровню через 12 мес после окончания лечения. Анализ влияния лечения на эректильную функцию показал, что у 75 % пациентов, не имевших нарушений до начала лечения, не отмечено ее изменений в периоде динамического наблюдения.

Недавно King et al. [34] представлены результаты анализа объединенной базы данных пациентов, принимавших участие в исследованиях 2-й фазы крупнофракционной ДЛТ, проводившихся в 8 исследовательских центрах США и Европы и включавших всего 1100 пациентов. В исследование были включены пациенты с локализованным РПЖ всех групп риска, большая часть — низкого и промежуточного риска (89 %). Медиана предписанной дозы равнялась 36,25 Гр за 5 фракций (в некоторых центрах также применялась схема 38 Гр за 4 фракции и 40 Гр за 5 фракций). 14 % пациентов получили короткий курс антиандрогенной терапии до начала курса облучения (преимущественно пациенты с РПЖ высокого риска). 5-летняя выживаемость без биохимического рецидива составила 93 % для всех пациентов в исследовании, 95, 84 и 81 % для пациентов в группах низкого, промежуточного и высокого рисков РПЖ соответственно. Среди 135 пациентов с минимальным сроком динамического наблюдения 5 лет у 99 и 93 % пациентов с РПЖ низкого и промежуточного риска соответственно был достигнут биохимический контроль опухоли. Не было отмечено статистически значимой разницы в показателях биохимического контроля опухоли между группами пациентов в зависимости от предписанной дозы а также от использования антиандрогенной терапии до и во время ДЛТ.

В табл. 1 в обобщенном виде представлены опубликованные результаты нерандомизированных клинических исследований крупнофракционной ДЛТ РПЖ, в которых медиана динамического наблюдения составила минимум 2 года. В этих исследованиях в основном были включены пациенты с РПЖ низкого и среднего риска, и только у небольшой части пациентов (в некоторых исследованиях до 10–15 % от общего числа включенных в исследование) был локализованный РПЖ высокого риска. В основном отмечались поздние лучевые повреждения 2-й степени со стороны мочеполовой системы (в виде учащенного мочеиспускания, длительных дизурических явлений), а в единичных случаях (до 3–5 % от общего числа пациентов в исследовании) отмечались поздние лучевые повреждения 3-й степени, потребовавшие хирургического вмешательства, также чаще со стороны мочеполовой системы. Во всех исследованиях получены высокие результаты биохимического контроля опухоли более 90 % у пациентов с РПЖ низкого и среднего риска и от 75 до 80 % у пациентов с РПЖ высокого риска, что соответствует результатам контроля опухоли после радикального курса ДЛТ с классическим фракционированием и умеренным гипofракционированием дозы.

В настоящее время проводится несколько рандомизированных клинических исследований, где сравниваются различные схемы крупнофракционного облучения с классическим фракционированием или умеренным гипofракционированием. В США

Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) проводит многоцентровое рандомизированное исследование 2-й фазы RTOG 0938, в котором сравниваются две схемы фракционирования: 36,25 Гр за 5 сеансов (РОД 7,25 Гр) и 51,6 Гр за 12 сеансов (РОД 4,3 Гр). В исследование включены только пациенты с РПЖ низкого риска (ПСА < 10 нг/мл, аденокарцинома предстательной железы с Глисон от 2 до 6, клиническая стадия T_{1-2a}). В еще одном рандомизированном исследовании (США), которое проводится в University of Miami Sylvester Comprehensive Cancer Center, сравниваются две схемы фракционирования 36,25 Гр за 5 сеансов (РОД 7,25 Гр) и 70,2 Гр за 26 сеансов (РОД 2,7 Гр). В исследование включены пациенты с локализованным и местно-распространенным РПЖ (только T_{3a} по данным МРТ), ПСА < 15 нг/мл и показателем Глисон от 2 до 7. Также недавно было завершено рандомизированное многоцентровое исследование PACE (Prostate Advances in Comparative Evidence), в котором было проведено сравнение лапароскопической и роботизированной простатэктомии с крупнофракционной ДЛТ до СОД 36,25 Гр за 5 сеансов или СОД 38 Гр за 4 сеанса, а также классической фракционной ДЛТ до СОД 78 Гр за 39 сеансов [45].

Несмотря на то, что в настоящий момент результаты рандомизированных исследований КФДЛТ еще не опубликованы, еще в начале 2014 г. по мнению экспертов национальной онкологической сети США (NCCN) по лечению РПЖ методика крупнофракционной ДЛТ, также называемой экстракраниальной стереотаксической радиотерапией РПЖ («экстремальное гипofракционирование» с разовой очаговой дозой от 6,5 Гр и выше) является безопасной и не менее эффективной, чем режимы конвенционального фракционирования дозы, по данным моноцентровых и объединенных исследований из нескольких центров. Данная методика может рассматриваться как альтернативный метод режимам конвенционального фракционирования дозы в клиниках с соответствующим уровнем технического оснащения, подготовки кадров и клиническим опытом применения данной технологии [46].

Следует отметить, что технические требования к реализации крупнофракционной ДЛТ предстательной железы намного выше, чем при обычной фракционной лучевой терапии. Обязательным условием является применение современных технологий планирования, таких как интенсивно-модулированная лучевая терапия (IMRT, VMAT) в сочетании с технологиями облучения с визуальным контролем положения мишени (IGRT, tracking). С целью повышения безопасности лечения и профилактики тяжелых поздних лучевых повреждений в настоящее время начаты исследования специальных систем иммобилизации предстательной железы (эндоректальных баллонов), а также систем, позволяющих отделить переднюю

Таблица 1

Клинические исследования крупнофракционной дистанционной лучевой терапии рака предстательной железы

Автор	Год	Кол-во пациентов	Группы риска	Медиана наблюдения, мес	Режим фракционирования	Осложнения 2 ст. и выше*, % (3 ст., %)	ВВБР†
Madsen et al. [35]	2007	40	Низкий	41	33,5 Гр (6,7 Гр × 5)	МПС‡ = 20 % (0 %) ЖКТ§ = 7,5 % (0 %)	90 %
King et al. [31]	2009	41	Низкий	33	36,25 Гр (7,25 Гр × 5)	МПС = 29 % (5 %) ЖКТ = 15 % (0 %)	—
Friedland et al. [36]	2009	112	Низкий Средний Высокий	24	35 Гр (7 Гр × 5)	МПС = 6 % (0 %) ЖКТ = 1 % (1 %)	97 %
Boike et al. [37]	2011	45	Низкий Средний	30	45 Гр (9 Гр × 5) 47,5 Гр (9,5 Гр × 5) 50 Гр (10 Гр × 5)	МПС = 13 % (4,4 %) ЖКТ = 6,7 % (2,2 % [#])	100 %
Kang et al. [38]	2011	44	Низкий Средний Высокий	40	32 Гр (8 Гр × 4) 34 Гр (8,5 Гр × 4) 36 Гр (9 Гр × 4)	МПС = 6,8 % (0 %) ЖКТ = 11,4 % (0 %)	100 % (НР) 100 % (СР) 90,8 % (ВР)
King et al. [32]	2012	67	Низкий	33	36,25 Гр (7,25 Гр × 5)	МПС = 8,5 % (3,5 %) ЖКТ = 2 % (0 %)	94 %
McBright et al. [39]	2012	45	Низкий	44,5	36,25 Гр (7,25 Гр × 5) 37,5 Гр (7,5 Гр × 5)	МПС = 18 % (2,2 %) ЖКТ = 12 % (5 %)	97,7 %
Bolzicco et al. [40]	2013	100	Низкий Средний Высокий	36	35 Гр (7 Гр × 5)	МПС = 4 % (1 %) ЖКТ = 1 % (0 %)	94,4 %
Chen et al. [41]	2013	100	Низкий Средний Высокий	27,6	36,25 Гр (7,25 Гр × 5)	МПС = 31 % (1 %) ЖКТ = 1 % (0 %)	99 %
Katz et al. [33]	2013	304	Низкий Средний Высокий	60	36,25 Гр (7,25 Гр × 5) 37,5 Гр (7,5 Гр × 5)	МПС = 11 % (2 %) ЖКТ = 5 % (0 %)	97 % (НР) 90,7 % (СР) 74,1 % (ВР)
Aluwini et al. [42]	2013	50	Низкий Средний	23	34 Гр (8,5 Гр × 4) ^{\$}	МПС = 16 % (6 %) ЖКТ = 3 % (0 %)	100 %
Oliai et al. [43]	2013	70	Низкий Средний Высокий	37	35 Гр (7 Гр × 5) 36,25 Гр (7,25 Гр × 5) 37,5 Гр (7,5 Гр × 5)	МПС = 29 % (3 %) ЖКТ = 9 % (0 %)	100 % (НР) 95 % (СР) 77,1 % (ВР)
Loblaw et al. [44]	2013	84	Низкий	55	35 Гр (7 Гр × 5, 1 сеанс в неделю)	МПС = 5 % (0 %) ЖКТ = 8 % (1 % [#])	98 %
King et al. [34]	2013	1100	Низкий Средний Высокий	36	35 Гр (7 Гр × 5) 36,25 Гр (7,25 Гр × 5) 38 Гр (9,5 Гр × 4) 40 Гр (10 Гр × 4)	—	95 % (НР) 84 % (СР) 81 % (ВР)

Примечание:

* Поздние лучевые повреждения 2-й степени и выше по шкале RTOG/EORTC (в скобках — частота поздних лучевых повреждений 3 ст.)

† Выживаемость без биохимического рецидива

‡ МПС — лучевые повреждения со стороны мочеполовой системы

§ ЖКТ — лучевые повреждения со стороны желудочно-кишечного тракта

— в данном исследовании был отмечен один случай лучевых повреждений прямой кишки 4-й степени

\$ — в данном исследовании использовался синхронно-интегрированный буст на визуализируемую по МРТ опухоль до СОД 44 Гр (11 Гр × 4)

стенку прямой кишки от предстательной железы (так называемых «спейсеров»).

Так, в недавно опубликованной работе Carlo Greco [47] представлены предварительные результаты клинического исследования I фазы, в которое были включены 10 больных РПЖ низкого и промежуточно-го риска. Для иммобилизации предстательной железы во время КТ-симуляции и каждого сеанса облучения применялись специальные эндоректальные баллоны, заполняемые 100–150 см³ воздуха. Эти устройства позволили с одной стороны зафиксировать мишень облучения (предстательная железа вместе с семенными пузырьками), с другой стороны — значительно снизить дозу на стенку прямой кишки, вследствие ее

растяжения и смещения большей части окружности стенки кзади. Для слежения за положением мишени во время сеанса облучения использовались электромагнитные передатчики системы Calypso, внедряемые в мочевой катетер, устанавливаемый в мочевой пузырь. Визуализация интрапростатической части уретры во время планирования и доставки дозы с помощью мочевого катетера позволила снизить дозу на уретру до безопасного уровня — не более 35–36 Гр. В результате применения этих систем вариация в положении мишени облучения во время сеанса лечения составила менее 1 мм. Таким образом, несмотря на более высокие разовые дозы облучения в этом исследовании (5 сеансов по 9 Гр до суммарной дозы 45 Гр) ни

в одном из случаев не было отмечено острых лучевых повреждений 2-й степени и выше, что подтверждает эффективность эндоректальных баллонов при крупнофракционной ДЛТ рака предстательной железы.

Помимо эндоректальных баллонов для снижения дозы на стенку прямой кишки используется введение полиэтиленгликолевого геля или гиалуроновой кислоты в мягкие ткани между прямой кишкой и предстательной железой, а также специальные биодеградируемые баллоны, заполняемые физиологическим раствором. Эти системы позволяют создать прослойку геля толщиной от 7 до 20 мм между передней стенкой прямой кишки и капсулой предстательной железы. К настоящему времени проведено несколько клинических исследований подобных систем, в которых они применялись при обычной фракционной или умеренно гипофракционной лучевой терапии, а также при внутритканевой брахитерапии имплантируемыми источниками с низкой и высокой мощностью дозы у пациентов с начальными стадиями РПЖ и позволили предотвратить развитие тяжелых лучевых повреждений прямой кишки [48]. Опыт применения «спейсеров» при крупнофракционной ДЛТ в настоящее время ограничен одной публикацией клинического случая пациента, которому перед проведением лечения на системе CyberKnife была выполнена имплантация гидрогеля [49]. В другом исследовании был представлен дозиметрический анализ технической возможности крупнофракционного облучения за 5 сеансов с разными дозами 6,5 и 8,5 Гр у пациентов после введения гидрогелевой прослойки между предстательной железой и стенкой прямой кишки [50]. Клинические результаты применения подобной схемы облучения с гидрогелевым «спейсером» пока не опубликованы.

Оценка побочных эффектов и качества жизни пациентов после крупнофракционной дистанционной лучевой терапии рака предстательной железы

Побочные эффекты КФДЛТ в виде поздних лучевых повреждений 2-й степени и выше по шкале RTOG или CTC/AE (т.е. побочные эффекты, требующие специального медикаментозного (2-й степени) или хирургического лечения (3-й степени)) отмечаются значительно чаще со стороны мочеполовой системы (до 30 %), чем со стороны прямой кишки (до 15 %) (табл. 1). При этом серьезные побочные эффекты 3-й степени встречаются редко, их частота не превышает 3–5 %.

Помимо объективной врачебной оценки побочных эффектов, не менее важной является субъективная оценка последствий лечения самим пациентом, которая проводится по специально разработанным опросникам, наиболее популярным из которых для пациентов с РПЖ является EPIC-26 (Expanded Prostate

Cancer Index Composite) [51, 52], включающий 26 вопросов по 4 разделам о функции мочеиспускания, дефекации, эректильной и гормональной функции. После подсчета баллов в каждом разделе они переводятся по специальной шкале в суммарный балл от 0 до 100, при этом высокий балл говорит о более высокой удовлетворенности пациента исследуемой функцией и соответственно о более высоком качестве жизни.

Наиболее крупное исследование качества жизни пациентов после КФДЛТ было проведено King et al. [53]. В данное исследование было включено 864 пациента из объединенной базы данных исследований 2-й фазы, опубликованного ранее [34]. Была проведена оценка показателей качества жизни по опроснику EPIC-26, полученных до начала лечения, через 1 мес и регулярные интервалы по 3–6 мес до 6 лет. Проведенный анализ изменений показателей качества жизни с течением времени после лечения показал заметное снижение показателей функции мочеиспускания и дефекации в первые 3 мес после окончания лечения с последующим быстрым восстановлением до исходного уровня к 6 мес и последующей стабилизацией и даже некоторым улучшением через 3 года после окончания лечения. При этом ни возраст, ни использование антиандрогенной терапии не влияли на динамику показателей качества жизни после лечения. В группе пациентов с высокими показателями эректильной функции до начала лечения эти показатели особенно заметно снижались в первые 9 мес после окончания лечения, затем скорость снижения стабилизировалась, но продолжала постепенно снижаться, что авторы связывают с естественным возрастными изменениями в исследованной группе пациентов. Сравнивая свои данные с оценкой качества жизни после обычной фракционной лучевой терапии и брахитерапии, авторы делают вывод о том, что показатели качества жизни после КФДЛТ сопоставимы с таковыми после других видов лучевой терапии.

Помимо обобщенных данных анализа показателей качества жизни, в настоящее время опубликован ряд работ, подробно анализирующих отдельные виды побочных эффектов КФДЛТ со стороны мочеполовой системы, прямой кишки, а также состояние эректильной функции.

Так, группа исследований из Georgetown University Hospital недавно опубликовала ряд подробных исследований побочных эффектов и качества жизни пациентов со стороны мочеполовой системы после проведенной КФДЛТ. В исследовании Arscott WT et al. [54] проанализированы симптомы обструкции мочеполовых путей у пациентов с РПЖ, получивших облучение до СОД 36,25 Гр за 5 сеансов, когда при планировании облучения доза на интрапростатическую часть уретры не снижалась из-за опасений снижения показателей контроля опухоли. Симптомы обструкции в виде неполного опорожнения мочевого пузыря, слабой струи

мочи, напряжения при мочеиспускании, потребовавшие медикаментозного лечения (побочные эффекты 2-й степени) встречались с частотой до 40 % в течение первых двух лет наблюдения после лечения. Тяжелые симптомы обструкции, потребовавшие временной катетеризации и/или ТУР, отмечены только у 4 пациентов (1,5 %). Анализ субъективной оценки симптомов по шкале EPIC-26 показал быстрое снижение показателей функции мочеиспускания в течение первого месяца после окончания лечения с последующим восстановлением в течение 3 мес. Через 2 года после окончания лечения возврат к исходному уровню показателей функции мочеиспускания отмечен у 92,6 %. Для той же группы пациентов в исследовании Woo J.A. et al. [55] подробно описан феномен «поздней вспышки» (late flare) симптомов со стороны мочеполовой системы, который развивается у 13,4 % пациентов в сроки от 9 до 18 мес после окончания лечения и связан, по-видимому, с поздним цистоуретритом в области шейки мочевого пузыря. Авторами отмечено усиление симптомов дизурии, оцениваемое по шкале AUA как увеличение оценки более чем на 5 баллов от базального уровня, а также снижение показателей функции мочеиспускания и качества жизни по шкале EPIC-26. При этом пик дизурических симптомов отмечался в срок 12 мес после окончания лечения, когда примерно 43 % пациентов отмечали, что при мочеиспускании были умеренные или серьезные проблемы (формулировка опросника EPIC-26). Также отмечено увеличение частоты использования альфа-адреноблокаторов для купирования дизурических симптомов — она возросла с 31 % до начала облучения и достигла пика до 85 % через 18 мес после лечения. Единственным фактором риска развития указанных дизурических симптомов был возраст пациентов — симптомы чаще развивались у более молодых пациентов. Несмотря на развитие «поздней вспышки» дизурических симптомов у большинства пациентов, показатели функции мочеиспускания постепенно возвращались к норме в течение 24 мес после окончания лечения.

Той же группой авторов представлен анализ такого относительно редкого побочного эффекта как недержание мочи после КФДЛТ [56]. Оценка недержания мочи также проводилась по соответствующему разделу опросника EPIC-26. Симптомы недержания мочи в виде эпизодов непроизвольного мочеиспускания более одного раза в день, периодического выделения мочи по каплям и использования памперсов, оцененные пациентами как умеренно или сильно выраженные, отмечены у 10 % пациентов до начала лечения и у 15,3 % пациентов через 3 года после окончания лечения. До начала лечения только 1 % пациентов отмечали, что недержание мочи было для них умеренной или серьезной проблемой (формулировка опросника EPIC-26), через 3 года после окончания лечения пропорция таких пациентов увеличилась до

6,4 %. При исследовании факторов риска, связанных с недержанием мочи, оказалось, что только большой объем предстательной железы был связан с риском развития симптомов недержания. Анализируя свои данные, авторы указывают на то, что 90 % пациентов, не использовавших памперсы до начала лечения, также не использовали их после окончания лечения и что в целом, по субъективной оценке пациентов, не более 10 % из них в течение всего времени наблюдения отмечали, что симптомы недержания представляют для них серьезные проблемы.

Группа исследователей из Georgetown University Hospital также представила подробный анализ частоты осложнений и показателей функции дефекации и качества жизни у пациентов, получивших КФДЛТ. В исследование Sood S. et al. [57] было включено около 50 пациентов, которым в различные сроки после проведенной КФДЛТ (медиана срока составила 13 мес) выполнялась ректоскопия в связи с развитием каких-либо симптомов со стороны прямой кишки. В представленной группе пациентов симптомы острого лучевого ректита 2-й степени (т.е. симптомы, требовавшие медикаментозного лечения) отмечены у 10 пациентов (20 %), симптомы позднего лучевого ректита 2-й степени — у 3 пациентов (6 %). Ни в одном из случаев не отмечено острых или поздних симптомов 3-й степени (т.е. симптомов, требующих хирургического вмешательства). При эндоскопическом осмотре слизистой прямой кишки у всех 10 пациентов (20 %) отмечены несливные очаги телеангиоэктазий (2-я степень по шкале VRS), у 12 пациентов (24 %) — признаки фокального лучевого мукозита на слизистой прямой кишки. Ни у одного из обследованных пациентов не были обнаружены лучевые язвы, стриктуры или фистулы. Субъективная оценка функции дефекации, проведенная по опроснику EPIC-26, также выявила заметное снижение показателей в течение первого месяца после проведенного лечения с 96,9 до 82,3 баллов с последующим постепенным восстановлением до 91,0 к 24 мес после окончания лечения (что ниже исходного уровня). Следует обратить внимание, что в данное исследование были включены только пациенты, которым проводилось эндоскопическое исследование в связи с появлением каких-либо симптомов со стороны прямой кишки. В общей группе пациентов, которым проводилась КФДЛТ (около 500 пациентов) частота случаев лучевого ректита 2-й степени и выше составляла менее 10 %.

Пока опубликованы результаты только одного проспективного исследования со ступенчатой эскалацией суммарной дозы при крупнофракционной ДЛТ РПЖ, целью которого было определение максимальной переносимой суммарной очаговой дозы [37]. В данное исследование было включено 45 пациентов с РПЖ низкого и промежуточного риска по

распространенной схеме клинического исследования 1-й фазы по поиску максимально переносимой дозы облучения. Проводился ступенчатый набор в 3 группы по 15 пациентов, которым проводилось облучение за 5 сеансов до СОД 45, 47,5 и 50 Гр. При пересчете для клеток РПЖ с коэффициентом $\alpha/\beta = 1,5$ Гр для эквивалентной СОД при классическом фракционировании дозы (РОД 2,0 Гр) данные 3-й схемы соответствуют СОД 135, 149 и 164 Гр. Лечение проводилось на линейном ускорителе по методике IMRT/IGRT, при планировании использовался отступ в 3 мм для создания объема PTV, перед каждым сеансом облучения положение мишени верифицировалось по данным совмещения КТ в конусном пучке с данным КТ-симуляцией, при этом в предстательную железу до КТ-симуляции имплантировались рентгенконтрастные метки. Для иммобилизации предстательной железы во время КТ-симуляции и во время каждого сеанса облучения использовались раздуваемые эндоректальные баллоны. Все это позволило добиться высокой точности облучения мишени и минимизировать объем нормальных тканей, получавших аблативные дозы. При медиане динамического наблюдения 30, 18 и 12 мес для групп с СОД 45, 47,5 и 50 Гр отмечено 2 случая тяжелых лучевых повреждений 3-й степени (в виде лучевого цистита и уретрита у обоих пациентов) и 4-й степени (в виде острой лучевой язвы прямой кишки у одного из этих пациентов) в группах СОД 47,5 и 50 Гр. У одного из этих пациентов вскоре после проведенного лечения появились признаки острого кровотечения из прямой кишки, при обследовании обнаружена острая лучевая язва, потребовавшая наложения колостомы. Этот пациент до облучения и во время него продолжал принимать иммуносупрессивные препараты (сиролимус и такролимус), так как ранее ему была выполнена трансплантация почки, что, вероятно, способствовало усилению острой лучевой реакции со стороны прямой кишки после лечения. После временной отмены иммуносупрессивной терапии, на фоне гипербарической оксигенации, было отмечено постепенное заживление лучевой язвы. Частота ранних и поздних лучевых повреждений 2-й степени со стороны мочеполовой системы, поддающихся консервативной терапии, составила 33, 13 и 33 % в группах СОД 45, 47,5 и 50 Гр соответственно.

Недавно Kim D.W. [58] был опубликован подробный анализ побочных эффектов со стороны прямой кишки при исследовании по поиску максимальной переносимой суммарной дозы. При медиане наблюдения более 2 лет в группе с наивысшим уровнем суммарной дозы (50 Гр за 5 сеансов, т.е. с разовой очаговой дозой 10 Гр) у 6 пациентов (6,6 %) отмечено развитие тяжелого лучевого ректита 3 степени и поздней лучевой язвы (у 3 пациентов из 6) — осложнений,

потребовавших наложения колостомы у 5 пациентов. При анализе дозиметрических параметров было установлено, что тяжелые острые и поздние лучевые повреждения прямой кишки развивались только в группе с предписанной дозой СОД 50 Гр за 5 фракций и если объем стенки прямой кишки, получавший 50 Гр, превышал 3 см³. В группах пациентов с предписанной СОД 45 и 47,5 Гр за 5 фракций за весь период наблюдения не было отмечено ни одного случая тяжелых лучевых повреждений прямой кишки, потребовавших хирургического вмешательства. Симптомы лучевого ректита 2 степени (купированные медикаментозным лечением) отмечены только у одного пациента в группе СОД 45 Гр и у 9 пациентов в группе СОД 47,5 Гр.

Wiegner E.A. и King C.R. [59] опубликованы результаты анализа эректильной функции и качества жизни у пациентов после КФДЛТ, получивших лечение в рамках проспективного исследования 2-й фазы в Stanford University. Анализ проводился с использованием соответствующего раздела опросника EPIC-26. Было отмечено постепенное снижение всех основных показателей как эректильной функции, так и удовлетворенностью сексуальной жизнью с течением времени после окончания лечения. К 50 мес наблюдения отмечено снижение показателей от 25 до 50 % от уровня до начала лечения. Пропорция пациентов, у которых были симптомы эректильной дисфункции (определенные в исследовании как эрекции, недостаточные для полового акта), увеличилась с 38 % до начала лечения до 71 % к 50 мес наблюдения. При анализе факторов, связанных с развитием эректильной дисфункции, было установлено, что только возраст пациентов как на момент начала лечения, так и на момент последнего наблюдения, оказывал значительное влияние на развитие эректильной дисфункции. У 60 % пациентов младше 70 лет на момент последнего наблюдения эректильная функция была сохранена, при этом у пациентов старше 70 лет эректильная функция была сохранена только в 12 % случаев. Авторы указывают на трудности оценки влияния проведенного лечения на показатели сексуальной жизни в исследованной группе пациентов с медианой возраста 67,5 лет. Обнаруженное ими снижение показателей и высокая частота эректильной дисфункции после КФДЛТ могли быть связаны с естественными причинами старения и сопутствующей патологией (сахарный диабет, кардиоваскулярные заболевания и т.д.). Авторы также отмечают, что несмотря на большое число пациентов с эректильной дисфункцией на момент последнего наблюдения (66 %) в их исследовании только 25 % мужчин отмечали, что сексуальная функция представляла для них умеренные или серьезные проблемы.

Выводы

Гипофракционная ДЛТ при РПЖ в последнее время получила большое распространение. Сокращение количества сеансов лечения с одновременным увеличением дозы за фракцию преследует цель не только повысить удобство лечения для пациента (сокращение числа ежедневных визитов в клинику) и оптимизировать затраты на проведение лечения, но, в первую очередь, достигнуть более высоких показателей контроля опухоли, учитывая высокую чувствительность РПЖ к высоким дозам за сеанс лечения. В многочисленных исследованиях 2-й фазы, завершённых к настоящему времени, продемонстрировано, что в клиниках с достаточно высоким уровнем технического оснащения крупнофракционное облучение предстательной железы за 4–5 сеансов позволяет достичь контроля опухоли в 80–90 % случаев, не сопровождается увеличением частоты тяжёлых поздних лучевых повреждений и может применяться вне рамок клинических исследований как альтернатива фракционной лучевой терапии в режиме классического фракционирования дозы.

Тем не менее, вопрос о суммарной дозе и режиме фракционирования в целом остается нерешённым, в частности из-за того, что в основном в исследования были включены пациенты из групп низкого и промежуточного риска, у которых и при классическом фракционировании дозы отмечаются высокие показатели контроля опухоли. Дальнейшая эскалация суммарной дозы до СОД 40–45 Гр за 5 сеансов, по-видимому, должна улучшить контроль опухоли прежде всего у пациентов с неблагоприятными прогностическими признаками (высокий показатель Gleason score и высокий уровень ПСА до начала лечения). При крупнофракционной ДЛТ до СОД 36,25–37,5 Гр за 5 сеансов побочные эффекты 1–2-й степени со стороны мочеполовой системы встречаются до 30 %, со стороны прямой кишки — до 15 %, а серьёзные побочные эффекты 3-й степени и выше в единичных случаях (до 3–5 %), что в целом сопоставимо с частотой побочных эффектов при обычной фракционной или умеренно гипофракционной ДЛТ.

Очевидно, что увеличение суммарной дозы до 40–45 Гр за 5 сеансов может значительно повысить частоту тяжёлых поздних лучевых повреждений. Разработанные в последнее время специальные системы иммобилизации предстательной железы, такие, как эндоректальные баллоны и «спейсеры», помогают в значительной степени снизить высокие дозы на переднюю стенку прямой кишки, что делает возможной эскалацию суммарной дозы при КФДЛТ. Применение таких систем в настоящее время является предметом активных исследований в нескольких клинических центрах. Кроме того, в нескольких текущих рандомизированных исследованиях 3-й фазы проводится сравнение крупнофракционной ДЛТ и режимов

классического фракционирования дозы. Тем не менее, по мнению экспертов национальной онкологической сети США (NCCN) по лечению РПЖ, методика крупнофракционной ДЛТ может рассматриваться как альтернативный метод режимам конвенционального фракционирования дозы в клиниках с соответствующим уровнем технического оснащения, подготовки кадров и клиническим опытом применения данной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таринский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2012 году (заболеваемость и смертность). М.: ФГБУ «МНИОИ им. П.А. Герцена» Минздрава России. 2014. 250 с.
2. D'Amico A.V., Whittington R., Malkowicz S.B. et al. Biochemical outcome after radical prostatectomy or external beam radiation therapy for patients with clinically localized prostate carcinoma in the prostate specific antigen era // *Cancer*. 2002. Vol. 95. № 2. P. 281–286.
3. D'Amico A.V., Whittington R., Malkowicz S.B. et al. Pre-treatment nomogram for prostate-specific antigen recurrence after radical prostatectomy or external-beam radiation therapy for clinically localized prostate cancer // *J. Clin. Oncol.* 1999. Vol. 17. № 1. P. 168–172.
4. D'Amico A.V. Prostate cancer: where we have been, where we are, and where we are going // *Semin Radiat. Oncol.* 2013. Vol. 23. № 3. P. 155–156.
5. Peeters S.T., Heemsbergen W.D., Koper P.C. et al. Dose-response in radiotherapy for localized prostate cancer: results of the Dutch multicenter randomized phase III trial comparing 68 Gy of radiotherapy with 78 Gy // *J. Clin. Oncol.* 2006. Vol. 24. № 13. P. 1990–1996.
6. Pollack A., Zagars G.K., Starkschall G. et al. Prostate cancer radiation dose response: results of the M.D. Anderson phase III randomized trial // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2002. Vol. 53. № 5. P. 1097–1105.
7. Zietman A.L., DeSilvio M.L., Slater J.D. et al. Comparison of conventional-dose vs high-dose conformal radiation therapy in clinically localized adenocarcinoma of the prostate: a randomized controlled trial // *JAMA*. 2005. Vol. 294. № 10. P. 1233–1239.
8. Spratt D.E., Pei X., Yamada J. et al. Long-term survival and toxicity in patients treated with high-dose intensity modulated radiation therapy for localized prostate cancer // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2013. Vol. 85. № 3. P. 686–692.
9. Дарьялова С.Л., Бойко А.В., Алексеев Б.Я., Гришина Ю.А. Методика и результаты лучевой терапии рака предстательной железы // *Росс. онкол. журнал*. 2006. № 6. P. 9–13.
10. Бойко А.В., Черниченко А.В., Дарьялова С.Л., Мещерякова И.А., Тер-Арутюнянц С.А. Нетрадиционное фракционирование дозы // В сб. «Материалы V Российской онкологической конференции». 2001.

11. Черниченко А.В., Бойко А.В., Морозова С.В. и соавт. Терморadiотерапия рака предстательной железы // Росс. онкол. журнал. 2009. № 3. P. 9–12.
12. Miles E.F., Lee W.R. Hypofractionation for prostate cancer: a critical review // *Semin. Radiat. Oncol.* 2008. 18. № 1. P. 41–47.
13. Brenner D.J., Hall E.J. Fractionation and protraction for radiotherapy of prostate carcinoma // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 1999. Vol. 43. № 5. P. 1095–1101.
14. Vogelius I.R., Bentzen S.M. Meta-analysis of the alpha/beta ratio for prostate cancer in the presence of an overall time factor: bad news, good news, or no news? // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2013. Vol. 85. № 1. P. 89–94.
15. Fowler J.F., Toma-*Dasu* I., *Dasu* A. Is the alpha/beta ratio for prostate tumours really low and does it vary with the level of risk at diagnosis? // *Anticancer Res.* 2013. Vol. 33. № 3. P. 1009–1011.
16. Tree A.C., Khoo V.S., van As N.J. et al. Is biochemical relapse-free survival after profoundly hypofractionated radiotherapy consistent with current radiobiological models? // *Clin. Oncol. (R. Coll. Radiol.)*. 2014. Vol. 26. № 4. P. 216–229.
17. Kupelian P.A., Willoughby T.R., Reddy C.A. et al. Hypofractionated intensity-modulated radiotherapy (70 Gy at 2.5 Gy per fraction) for localized prostate cancer: Cleveland Clinic experience // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2007. Vol. 68. № 5. P. 1424–1430.
18. Yeoh E.E., Botten R.J., Butters J. et al. Hypofractionated versus conventionally fractionated radiotherapy for prostate carcinoma: final results of phase III randomized trial // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2011. Vol. 81. № 5. P. 1271–1278.
19. Dearnaley D., Syndikus I., Sumo G. et al. Conventional versus hypofractionated high-dose intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer: preliminary safety results from the CHHiP randomised controlled trial // *Lancet Oncol.* 2012. Vol. 13. № 1. P. 43–54.
20. Arcangeli G., Saracino B., Gomellini S. et al. A prospective phase III randomized trial of hypofractionation versus conventional fractionation in patients with high-risk prostate cancer // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2010. Vol. 78. № 1. P. 11–18.
21. Arcangeli S., Strigari L., Gomellini S. et al. Updated results and patterns of failure in a randomized hypofractionation trial for high-risk prostate cancer // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012. Vol. 84. № 5. P. 1172–1178.
22. Arcangeli G., Fowler J., Gomellini S. et al. Acute and late toxicity in a randomized trial of conventional versus hypofractionated three-dimensional conformal radiotherapy for prostate cancer // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2011. Vol. 79. № 4. P. 1013–1021.
23. Arcangeli S., Scorsetti M., Alongi F. Will SBRT replace conventional radiotherapy in patients with low-intermediate risk prostate cancer? A review // *Crit Rev Oncol Hematol.* 2012. Vol. 84. № 1. P. 101–108.
24. Buyyounouski M.K., Price R.A., Jr., Harris E.E. et al. Stereotactic body radiotherapy for primary management of early-stage, low- to intermediate-risk prostate cancer: report of the American Society for Therapeutic Radiology and Oncology Emerging Technology Committee // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2010. Vol. 76. № 5. P. 1297–1304.
25. Ishiyama H., Teh B.S., Lo S.S. et al. Stereotactic body radiation therapy for prostate cancer // *Future Oncol.* 2011. Vol. 7. № 9. P. 1077–1086.
26. Fuks Z., Kolesnick R. Engaging the vascular component of the tumor response // *Cancer Cell.* 2005. Vol. 8. № 2. P. 89–91.
27. Collins C.D., Lloyd-Davies R.W., Swan A.V. Radical external beam radiotherapy for localised carcinoma of the prostate using a hypofractionation technique // *Clin. Oncol. (R. Coll. Radiol.)*. 1991. Vol. 3. № 3. P. 127–132.
28. Martinez A.A., Demanes J., Vargas C. et al. High-dose-rate prostate brachytherapy: an excellent accelerated-hypofractionated treatment for favorable prostate cancer // *Amer. J. Clin. Oncol.* 2010. Vol. 33. № 5. P. 481–488.
29. King C.R., Lehmann J., Adler J.R. et al. CyberKnife radiotherapy for localized prostate cancer: rationale and technical feasibility // *Technol. Cancer Res. Treat.* 2003. Vol. 2. № 1. P. 25–30.
30. Fuller D.B., Naitoh J., Lee C. et al. Virtual HDR CyberKnife treatment for localized prostatic carcinoma: dosimetry comparison with HDR brachytherapy and preliminary clinical observations // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2008. Vol. 70. № 5. P. 1588–1597.
31. King C.R., Brooks J.D., Gill H. et al. Stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: interim results of a prospective phase II clinical trial // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009. Vol. 73. № 4. P. 1043–1048.
32. King C.R., Brooks J.D., Gill H. et al. Long-term outcomes from a prospective trial of stereotactic body radiotherapy for low-risk prostate cancer // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012. Vol. 82. № 2. P. 877–882.
33. Katz A.J., Santoro M., Diblasio F. et al. Stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: disease control and quality of life at 6 years // *Radiat. Oncol.* 2013. Vol. 8. № 1. P. 1–8.
34. King C.R., Freeman D., Kaplan I. et al. Stereotactic body radiotherapy for localized prostate cancer: pooled analysis from a multi-institutional consortium of prospective phase II trials // *Radiother. Oncol.* 2013. Vol. 109. № 2. P. 217–221.
35. Madsen B.L., Hsi R.A., Pham H.T. et al. Stereotactic hypofractionated accurate radiotherapy of the prostate (SHARP). 33.5 Gy in five fractions for localized disease: first clinical trial results // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2007. Vol. 67. № 4. P. 1099–1105.
36. Friedland J.L., Freeman D.E., Masterson-McGary M.E. et al. Stereotactic body radiotherapy: an emerging treatment

- approach for localized prostate cancer // *Technol. Cancer Res. Treat.* 2009. Vol. 8. № 5. P. 387–392.
37. Boike T.P., Lotan Y., Cho L.C. et al. Phase I dose-escalation study of stereotactic body radiation therapy for low- and intermediate-risk prostate cancer // *J. Clin. Oncol.* 2011. Vol. 29. № 15. P. 2020–2026.
 38. Kang J.K., Cho C.K., Choi C.W. et al. Image-guided stereotactic body radiation therapy for localized prostate cancer // *Tumori.* 2011. Vol. 97. № 1. P. 43–48.
 39. McBride S.M., Wong D.S., Dombrowski J.J. et al. Hypofractionated stereotactic body radiotherapy in low-risk prostate adenocarcinoma: preliminary results of a multi-institutional phase 1 feasibility trial // *Cancer.* 2012. Vol. 118. № 15. P. 3681–3690.
 40. Bolzicco G., Favretto M.S., Satariano N. et al. A single-center study of 100 consecutive patients with localized prostate cancer treated with stereotactic body radiotherapy // *BMC Urol.* 2013. Vol. 13. № 1. P. 1–8.
 41. Chen L.N., Suy S., Uhm S. et al. Stereotactic body radiation therapy (SBRT) for clinically localized prostate cancer: the Georgetown University experience // *Radiat. Oncol.* 2013. Vol. 8. № 1. P. 1–10.
 42. Aluwini S., van Rooij P., Hoogeman M. et al. Stereotactic body radiotherapy with a focal boost to the MRI-visible tumor as monotherapy for low- and intermediate-risk prostate cancer: early results // *Radiat. Oncol.* 2013. Vol. 8. № 1. P. 1–7.
 43. Oliai C., Lanciano R., Sprandio B. et al. Stereotactic body radiation therapy for the primary treatment of localized prostate cancer // *J. Radiat. Oncol.* 2013. Vol. 2. № 1. P. 63–70.
 44. Loblaw A., Cheung P., D'Alimonte L. et al. Prostate stereotactic ablative body radiotherapy using a standard linear accelerator: toxicity, biochemical, and pathological outcomes // *Radiother. Oncol.* 2013. Vol. 107. № 2. P. 153–158.
 45. Tree A., Aluwini S., Bryant H. et al. Successful Patient Acceptance of Randomization Within the Pace Study (Prostate Advances in Comparative Evidence) // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2013. Vol. 87. № 2. P. S365.
 46. Mohler J.L., Kantoff P.W., Armstrong A.J. et al. Prostate cancer, version 2.2014 // *J. Natl. Compr. Canc. Netw.* 2014. Vol. 12. № 5. P. 686–718.
 47. Greco C. Extreme hypofractionated image-guided radiotherapy for prostate cancer // *EMJ Oncol.* 2013. № 1. P. 48–55.
 48. Mok G., Benz E., Vallee J.P. et al. Optimization of radiation therapy techniques for prostate cancer with prostate-rectum spacers: a systematic review // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2014. Vol. 90. № 2. P. 278–288.
 49. Sumila M., Mack A., Schneider U. et al. Long-term intra-fractional motion of the prostate using hydrogel spacer during Cyberknife(R) treatment for prostate cancer a case report // *Radiat. Oncol.* 2014. Vol. 9. № 1. P. 1–6.
 50. Chapet O., Udrescu C., Tanguy R. et al. Dosimetric implications of an injection of hyaluronic acid for preserving the rectal wall in prostate stereotactic body radiation therapy // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2014. Vol. 88. № 2. P. 425–432.
 51. Wei J.T., Dunn R.L., Litwin M.S. et al. Development and validation of the expanded prostate cancer index composite (EPIC) for comprehensive assessment of health-related quality of life in men with prostate cancer // *Urology.* 2000. Vol. 56. № 6. P. 899–905.
 52. Szymanski K.M., Wei J.T., Dunn R.L. et al. Development and validation of an abbreviated version of the expanded prostate cancer index composite instrument for measuring health-related quality of life among prostate cancer survivors // *Urology.* 2010. Vol. 76. № 5. P. 1245–1250.
 53. King C.R., Collins S., Fuller D. et al. Health-related quality of life after stereotactic body radiation therapy for localized prostate cancer: results from a multi-institutional consortium of prospective trials // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2013. Vol. 87. № 5. P. 939–945.
 54. Arscott W.T., Chen L.N., Wilson N. et al. Obstructive voiding symptoms following stereotactic body radiation therapy for prostate cancer // *Radiat. Oncol.* 2014. Vol. 9. № 1. P. 163–172.
 55. Woo J.A., Chen L.N., Bhagat A. et al. Clinical characteristics and management of late urinary symptom flare following stereotactic body radiation therapy for prostate cancer // *Frontiers in Oncol.* 2014. Vol. 4. № 1. P. 1–10.
 56. Chen L.N., Suy S., Wang H. et al. Patient-reported urinary incontinence following stereotactic body radiation therapy (SBRT) for clinically localized prostate cancer // *Radiat. Oncol.* 2014. Vol. 9. № 1. P. 1–9.
 57. Sood S., Ju A.W., Wang H. et al. Rectal endoscopy findings following stereotactic body radiation therapy for clinically localized prostate cancer // *Radiat. Oncol.* 2013. Vol. 8. № 1. P. 1–6.
 58. Kim D.W., Cho L.C., Straka C. et al. Predictors of rectal tolerance observed in a dose-escalated phase 1–2 trial of stereotactic body radiation therapy for prostate cancer // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2014. Vol. 89. № 3. P. 509–517.
 59. Wiegner E.A., King C.R. Sexual function after stereotactic body radiotherapy for prostate cancer: results of a prospective clinical trial // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2010. Vol. 78. № 2. P. 442–448.

Поступила: 12.01.2015

Принята к публикации: 14.12.2015

**А.В. Аклеев^{1,2}, Т.В. Азизова³, Р.М. Алексахин⁴, В.К. Иванов⁵,
А.Н. Котеров⁶, А.И. Крышев⁷, С.Г. Михеенко⁸, А.В. Рачков⁹,
С.А. Романов³, А.В. Сажин⁶, А.С. Самойлов⁶, С.М. Шинкарев⁶**

ИТОГИ 62-й СЕССИИ НАУЧНОГО КОМИТЕТА ПО ДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ РАДИАЦИИ (НКДАР) ООН (Вена, 1–5 июня 2015 г.)

**A.V. Akleyev^{1,2}, T.V. Azizova³, R.M. Aleksakhin⁴, V.K. Ivanov⁵, A.N. Koterov⁶,
A.I. Kryshev⁷, S.G. Mikheyenko⁸, A.V. Rachkov⁹, S.A. Romanov³,
A.V. Sazhin⁶, A.S. Samoylov⁶, S.M. Shinkarev⁶**

The Results of the 62nd Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 1–5 June, 2015)

РЕФЕРАТ

Статья посвящена основным итогам работы 62-й сессии НКДАР ООН, которая прошла с 1 по 5 июня 2015 г. в Вене (Австрия). В рамках совещаний Рабочей группы и подгрупп состоялись обсуждение документов по следующим проектам:

- методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов;
- радиационное облучение при производстве электроэнергии;
- биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов;
- развитие ситуации после отчета НКДАР ООН 2013г. об уровнях и эффектах радиационного облучения в результате ядерной аварии после Великого восточно-японского землетрясения и цунами;
- эпидемиология рака от воздействий излучения окружающей среды при низкой мощности дозы;
- совершенствование оценок доз медицинского облучения.

В ходе работы были обсуждены такие организационные вопросы, как состояние дел по подготовке публикаций НКДАР, руководящие принципы деятельности Комитета, структура Исполнительного комитета НКДАР, работа с общественностью, будущая программа исследований, отчет Генеральной ассамблеи ООН и другие.

Ключевые слова: 62-я сессия НКДАР ООН, дозы облучения, производство электроэнергии, радиоактивные выбросы, биологические эффекты, эпидемиология, медицинское облучение, окружающая среда

ABSTRACT

The current paper is devoted to the major results of the work of the 62nd Session of the UNSCEAR that was held in Vienna from June 1–5, 2015. Within the framework of the meeting of the Work group and subgroups the documents on the following projects were discussed:

- methodology for estimating human exposures due to radioactive discharges;
- radiation exposures from electricity generation;
- biological effects of selected internal emitters;
- developments after the 2013 UNSCEAR Report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great East-Japan earthquake and tsunami
- cancer epidemiology of exposures at low dose—rates due to environmental radiation;
- improvement of the medical exposure dose estimates.

During the Pannel some organizational issues such as the status of UNSCEAR publications, governing principles of the Committee's activities, the structure of the UNSCEAR Executive, public affairs, future research program, a report to the General Assembly and etc., were were discussed.

Key words: 62nd UNSCEAR Session, exposure doses, electricity generation, radioactive discharges, biological effects, epidemiology, medical exposure, environment

Введение

С 1 по 5 июня 2015 г. состоялась 62-я сессия НКДАР ООН (далее Комитет), в которой приняли участие эксперты из 27 стран-членов НКДАР

ООН (Австралия, Аргентина, Белоруссия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Египет, Индия, Индонезия, Испания, Канада, Китай, Мексика, Пакистан, Перу, Польша, Республика Корея, Российская Федерация, Словакия, Судан, США,

¹ Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск. E-mail: akleyev@urcrm.ru

² Челябинский государственный университет

³ Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерск, Челябинская область

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск

⁵ Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба МЗ РФ, Обнинск

⁶ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва.

⁷ НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск

⁸ Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва

⁹ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров

¹ Urals Research Center for Radiation Medicine of FMBA, Chelyabinsk, Russia. E-mail: akleyev@urcrm.ru

² Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

³ Southern Urals Biophysics Institute of FMBA, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, Russia

⁴ Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

⁵ A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russia

⁶ A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia

⁷ RPA "Typhoon" of Roshydromet, Obninsk, Russia

⁸ Russian Federation National Nuclear Corporation «ROSATOM», Moscow, Russia

⁹ Russian Research Institute for Experimental Physics, Sarov, Russia

Украина, Финляндия, Франция, Швеция, Япония), а также представители 5 международных организаций:

- Международное агентство по атомной энергии – МАГАТЭ (IAEA);
- Всемирная организация здравоохранения – ВОЗ (WHO);
- Европейская Комиссия – ЕК (ЕС);
- Международная комиссия по радиологической защите – МКРЗ (ICRP);
- Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям – МКРЕ (ICRU).

Российская делегация включала 12 специалистов: А.В. Аксеев – официальный представитель Российской Федерации в НКДАР ООН (УНПЦ РМ ФМБА России), Т.В. Азизова и С.А. Романов (ЮУрИБФ ФМБА России), Р.М. Алексахин (ВНИИ РАЭ ФАНО), В.К. Иванов (МРНЦ Минздрава РФ), А.С. Самойлов, А.Н. Котеров, А.В. Сажин, С.М. Шинкарев (ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России), А.И. Крышев (ФГБУ НПО «Тайфун» Росгидромета), С.Г. Михеенко (ГК «Росатом»), А.В. Рачков (РФЯЦ-ВНИИЭФ).

В соответствии с решением, достигнутым на 61-й сессии, уходящий председатель Комитета Карл-Магнус Ларссон (Австралия) открыл сессию, на которой были выбраны новые члены Бюро сроком на два года (2015 и 2016): Йошихару Йонекура (Yoshiharu Yonekura) – председатель (Япония); Джон Хант (John Hunt) (Бразилия), Питер Якоб (Peter Jacob) (Германия), Ханс Ванмарк (Hans Vanmarcke) (Бельгия) – заместители председателя и докладчик – Микаэль Валигорский (Michael Waligórski) (Польша). Обязанности ученого секретаря Комитета выполнял М. Крик (M. Crick).

Делегаты почтили память выдающегося ученого чл.-корр. РАН А.К. Гуськовой, которая в течение 29 лет входила в состав делегаций СССР и РФ в НКДАР ООН.

Результаты обсуждения научных отчетов

В рамках работы 62-й сессии НКДАР ООН состоялось обсуждение следующих научных отчетов:

- R.707 «Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов»;
- R.708 «Радиационное облучение при производстве электроэнергии»;
- R.709 «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов»;
- R.710 «Эпидемиологические исследования воздействия на население природного и техногенного облучения при низких мощностях доз»;
- R.711 «Совершенствование оценок доз медицинского облучения».
- R.712 «Развитие ситуации после отчета НКДАР ООН 2013 г. об уровнях и эффектах радиационного облучения в результате ядерной аварии после Великого восточно-японского землетрясения и цунами».

Документ R.707 «Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов»

Создание и периодическая актуализация методологии оценки дозы облучения населения от радиоактивных сбросов и выбросов в окружающую среду рассматривается Комитетом как одна из приоритетных задач. Предшествующие версии этой методологии были опубликованы в документах НКДАР ООН [1, 2] и успешно применялись на протяжении многих лет. Основной целью отчета R.707 является актуализация методологии оценки дозы облучения человека от поступления радионуклидов в окружающую среду с выбросами и сбросами как ядерных объектов, так и неядерных источников производства электроэнергии, с учетом наилучшей современной международной практики.

Методология, представленная в данном документе, может быть использована для оценок индивидуальных и коллективных эффективных доз облучения населения с целью сопоставления облучаемости на разных стадиях ядерного топливного цикла, а также от различных источников производства электроэнергии. Подчеркнуто, что понятие «коллективная доза облучения» не должно использоваться для нормирования радиационного воздействия, так как эта единица измерения дозы напрямую не соотносится со здоровьем. Индивидуальные дозы рассчитываются для характерного (типичного) человека, проживающего в районе расположения источника выбросов/сбросов радионуклидов в окружающую среду. Это принципиально отличает данный подход от методов, применяемых для целей регулирования (нормирования) выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду, где дозы, как правило, рассчитываются для критической группы населения. Расчеты доз облучения выполнялись для периодов 100, 500 и 1000 лет.

Перечень рассмотренных радионуклидов включает те, поступление которых в окружающую среду считается вероятным на разных стадиях ядерного топливного цикла. Особое внимание уделяется оценке поведения в окружающей среде глобально рассеиваемых радионуклидов – ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{129}I . Предложенная методология позволяет проводить расчеты индивидуальных и коллективных доз облучения населения при выбросах радионуклидов в атмосферный воздух, сбросах в реки, озера и моря. Учитывается внутреннее облучение от потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды, от вдыхания радионуклидов, внешнее облучение от поверхности почвы и от облака.

В рамках методологии принимается во внимание региональная специфика плотности проживания и пищевых привычек населения. Выбор значений параметров в моделях переноса радионуклидов и перехода в продукты питания предполагает использование обоснованных, но не обязательно наиболее консерватив-

ных оценок (как это принято в моделях, применяемых для целей регулирования).

В документе R.707 предложено учитывать, что только некоторая часть потребляемых населением пищевых продуктов производится в районе расположения источника выбросов и сбросов радионуклидов. В прежнем, консервативном предположении считалось, что 100 % продуктов производится локально. Комитет принял упрощенное предположение о том, что 25 % потребляемых продуктов производится в районе проживания человека; для обоснования этого тезиса использованы, в частности, данные исследования, выполненного во Франции [3]. Это значение также коррелирует с данными, полученными при оценках доз облучения населения после аварии на АЭС «Фукусима» в Японии [4].

Для оценки переноса и рассеяния радионуклидов в атмосфере в методологии используется Гауссова модель. Обсуждался вопрос о том, что источники выбросов радионуклидов в атмосферу на разных стадиях производства электроэнергии могут значительно различаться по высоте; например, при добыче урана основные выбросы происходят на низкой высоте или на уровне поверхности, тогда как выбросы атомных станций — из труб высотой более 100 м. Для целей и задач данной методологии принято упрощенное предположение о том, что все выбросы производятся из точечного источника высотой 30 м. При расчетах перехода радионуклидов из атмосферного воздуха в пищевые продукты (удельная активность в продуктах питания на единицу выпадений) используется динамическая модель FARMLAND [5], рекомендуемые значения параметров приведены в приложениях к проекту данного документа.

Отдельный раздел документа посвящен методам оценки доз облучения населения при сбросах в пресноводные объекты. Рассмотрены сбросы для трех типов пресноводных объектов — озера, крупные реки, малые реки. Для крупных рек используется референсное значение ширины реки 240 м, а скорость течения 1000 м³/с, для малых рек, соответственно, 30 м и 10 м³/с. Радиоэкологические характеристики переноса радионуклидов в пресноводных экосистемах взяты, в основном, из рекомендаций МАГАТЭ [6]. Дискуссия развернулась вокруг применимости выбранного значения доли потребления продуктов локального производства (25 %) для оценки потребления рыбы и водных организмов, были высказаны мнения о том, что это значение может быть существенно выше для потребления населением рыбы из морей и крупных рек.

Необходимо отметить, что впервые в методике НКДАР ООН оценена роль орошения как отдельного пути транспорта радионуклидов в окружающей среде, где отмечался усиленный перенос радионуклидов по трофическим цепочкам. Детальному обсуждению подверглись региональные особенности в формировании дозовых нагрузок на население, а также роль сброса ра-

дионуклидов в водную среду с учетом того, что многие объекты ядерной энергетики (в первую очередь АЭС) размещают на берегах крупных водных резервуаров (реки, озера).

Заклячая вышесказанное, можно констатировать, что описанная в документе R.707 методология является надежной основой для сравнительного анализа доз облучения населения от разных источников электроэнергии (ядерных и неядерных), выполненного в документе R.708.

Документ R.708 «Радиационное облучение при производстве электроэнергии»

Подготовка документа R.708 «Радиационное облучение при производстве электроэнергии» ведется с 2009 г. Активное начало работы над проектом документа было прервано в 2011–2013 гг. в связи с привлечением консультантов и экспертов, готовивших этот и другие документы НКДАР ООН, к срочной подготовке внепланового отчета по оценке радиационного воздействия аварии на АЭС «Фукусима-1» на работников, принимавших участие в ликвидации аварии, население и окружающую среду. С 2014 г. работа над документом шла в более интенсивном ритме, и в 2015 г. на 62-й сессии НКДАР ООН была поставлена задача довести подготовку документа до финальной стадии к следующей, 63-й сессии НКДАР ООН.

Цель документа — сравнение радиационного облучения населения Земли при производстве электрической энергии различными способами. Необходимо отметить, что Комитет согласно своему мандату периодически проводит такое сравнение, при этом последний обстоятельный сравнительный анализ был представлен достаточно давно (1993) и основывался на обобщении материалов отчета НКДАР ООН, собранных в 1988 г. Поэтому актуальность обновления ранее сделанных оценок очевидна. Вместе с тем при проведении сравнения радиационного воздействия на человека различных технологий производства электрической энергии важен выбор объективного критерия такого сравнения.

В качестве критерия традиционно рассматривается коллективная эффективная доза, обусловленная применением ядерной энергии (АЭС), сжиганием угля, нефти, газа, использованием водной энергии (ГЭС), а также солнечной энергетики, энергии ветра, геотермальной энергетики, нетрадиционной гидроэнергетики (приливно-отливные и нагонные станции), использованием биомассы. Важно подчеркнуть, что на заседаниях ряда сессий НКДАР ООН члены российской и других делегаций неоднократно обращали внимание на относительную ограниченность ценности сравнения различных технологий производства электроэнергии путем сопоставления коллективной дозы радиационного облучения, поскольку радиационное облучение является только одним, причем не самым важным фактором неблагоприятного воздействия на

человека. Строго говоря, сопоставление упомянутых выше технологий следовало бы проводить путем оценки суммарных рисков неблагоприятных последствий от всех факторов, включая выбросы в природную среду вредных загрязняющих веществ (в т.ч. и парниковых газов), действие инфразвука (при получении энергии с помощью ветра), изъятие из обращения обширных территорий (при строительстве гидроэлектростанций) и других. Поскольку другие факторы (кроме радиации) находятся вне компетенции Комитета и не включаются в сопоставительный анализ, выводы и рекомендации Комитета по изучению роли только радиационного фактора при различных способах производства электроэнергии носят ограниченный характер и не предназначены для комплексного сравнения вреда и пользы для человека упомянутых выше технологий.

На предыдущей, 61-й сессии НКДАР ООН версия отчета по данной теме была подвергнута существенной критике, в том числе и членами российской делегации. По итогам обсуждения на этой сессии сделаны выводы, согласно которым признано, что по ряду технологий производства электроэнергии нет полного набора исходных данных, необходимых для проведения достоверного сравнительного анализа радиационного облучения населения и персонала при производстве электроэнергии с помощью различных технологий. Также отмечено, что для проведения сравнительного анализа необходимо предварительно получить окончательные модели расчета, которые разрабатываются в параллельном документе R.707 «Методология оценки облучения человека, обусловленного сбросами радиоактивных веществ». Достигнуто согласие, что будет дано подробное пояснение, как следует интерпретировать приводимые в отчете оценки коллективных доз. Кроме того, констатируется, что для завершения работы над документом R.708 «Радиационное облучение при производстве электроэнергии» необходимо принять решение по следующим основным вопросам:

а) область применения документа с учетом того, что по ряду технологий производства электроэнергии отсутствуют необходимые данные для достоверного представления соответствующего жизненного цикла;

б) подходы к учету вариативности данных и неопределенности результатов расчета в сопоставительной форме для всех технологий;

в) подходы и критерии выбора радионуклидов, учитываемых при проведении расчетов;

г) отсечение коллективной дозы на основе установления «тривиальной» дозы отсечения, или выбора альтернативных подходов для корректной интерпретации приводимых в отчете значений коллективной дозы.

Секретариат НКДАР ООН сообщил, что в конце 2014 г. произошла смена основного консультанта, работавшего над этим документом, что также сказалось на ходе подготовки и сроках выпуска документа. С учетом таких изменений и состояния документа Секретариат НКДАР ООН предложил экспертам, уча-

ствовавшим в работе 62-й сессии, считать распространенную накануне сессии версию документа в качестве рабочего материала, и не рассматривать его на сессии, кроме двух разделов: «Методы оценки доз персонала на этапе добычи конструкционных материалов» и «Облучение при производстве электрической энергии с помощью преобразования солнечной энергии». Кроме того, Секретариат НКДАР ООН запросил экспертов дать комментарии к обновленному плану подготовки документа, к предложенным методам оценки доз и перечню исходных данных, планируемых к использованию в расчетах.

Важно подчеркнуть, что для проведения представительного сопоставления коллективных доз облучения при использовании различных технологий производства электроэнергии следует использовать сходные методы расчета и однотипные исходные данные. Однако в этом плане имеются объективные трудности, связанные с тем, что жизненный цикл производства электрической энергии на АЭС является наиболее изученным по сравнению со всеми остальными технологиями, по которым недостает требуемых исходных данных. В отсутствии таких данных приходится использовать экспертные оценки и предположения, что существенно снижает достоверность проводимых сопоставлений. На предыдущей сессии эксперты вновь указывали консультанту на данное обстоятельство. Секретариат НКДАР ООН отметил, что, в отличие от предыдущих документов по данной теме, в настоящем документе планируется использование обновленной методологии расчета коллективных доз для разных технологий, которая разрабатывается в рамках параллельного документа R.707 «Методология оценки облучения человека, обусловленного сбросами радиоактивных веществ», что позволит устранить критикуемый ранее недостаток. В текущем документе планируется сохранить формат представления оценок доз как коллективные дозы, нормализованные на единичное значение выработанной электроэнергии с помощью данного вида технологии. При этом рассматриваются только выбросы (сбросы) радионуклидов в окружающую среду при нормальной деятельности предприятий. Аварийные выбросы исключены из рассмотрения данного документа, и облучение при радиационных авариях рассмотрено в рамках других документов. В текущем документе оговаривается, что при интегрировании коллективных доз за период 100 лет не учитываются вероятные изменения в технологии, которые приведут к объективному снижению выбросов (сбросов).

По итогам обсуждения документа R.708 приняты следующие решения.

1) С учетом высокой степени готовности параллельного документа R.707 «Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов» становится реальным использовать его для проведения по единой методологии расчетов доз облучения на-

селения при выбросах (сбросах), обусловленных различными технологиями производства электрической энергии. Планируется, что два документа R.707 и R.708 будут опубликованы в одном томе как два отдельных научных приложения.

2) Эксперты одобрили представленный консультантами амбициозный план подготовки документа, согласно которому этот документ должен быть представлен к рассмотрению и утверждению на следующей 63-й сессии НКДАР ООН, что потребует очень напряженной скоординированной работы как консультантов, так и рабочей группы, сформированной в помощь консультантам, работающим над документами R.707 и R.708.

3) Одобрен методологический подход к расчету доз облучения населения от выбросов (сбросов) при различных технологиях производства электрической энергии.

4) Эксперты приняли к сведению перечень имеющихся исходных данных, представленных консультантами. Отмечено, что имеется весьма ограниченный набор данных для таких технологий производства электроэнергии, как солнечная, ветровая, геотермальная, сжигание биотоплива, что может вызвать трудности при интерпретации оценок доз, полученных при различной полноте набора исходных данных.

5) Рабочая версия перерабатываемого документа, распространенная среди экспертов перед 62-й сессией, может служить основой для подготовки полноценного документа к 63-й сессии НКДАР ООН.

Анализ представленных на рассмотрение 62-й сессии НКДАР ООН материалов по данному документу позволяет считать, что при нынешнем состоянии документа сроки представления его на окончательное утверждение Комитетом (через 1 год) выглядят весьма оптимистичными.

Документ R.709 «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов»

Данный отчет посвящен обзору биологических эффектов, обусловленных внутренним облучением от инкорпорированных радионуклидов (тритий и уран). Комитет рассмотрел обновленную версию раздела отчета по тритию, включающего обзор эффектов на здоровье в результате профессионального облучения работников предприятий и техногенного облучения населения от инкорпорированного трития, радиобиологических эффектов, современных методов оценки поглощенных доз при поступлении различных физических и химических форм трития. По сравнению с предыдущей версией отчет был существенно доработан согласно замечаниям НКДАР ООН. Изменена структура отчета и подготовлен новый раздел «Введение», в котором отражена актуальность и значимость исследований по оценке влияния трития на здоровье персонала предприятий атомной промышленности и ядерной

энергетики и населения, проживающего вблизи этих предприятий.

Обновленная версия отчета включает следующие разделы: источники трития, химические формы и пути поступления в организм, биокинетика и дозиметрия трития, биологические эффекты и влияние на здоровье, относительная биологическая эффективность трития, обзор результатов эпидемиологических исследований, заключение и рекомендации для будущих исследований.

Тритий — это радиоактивный изотоп водорода, встречающийся в естественной среде, главным образом, в результате взаимодействия частиц космического излучения с ядрами атомов молекул воздуха, а также образующийся вследствие работы ядерных реакторов. Тритий излучает бета-частицы, обладающие малой энергией и коротким пробегом в тканях организма. Дозы внутреннего облучения от инкорпорированного трития невозможно измерить напрямую, и поэтому поглощенные дозы облучения в органах и тканях рассчитываются на основе измерений бета-активности в моче, используя биокинетические и дозиметрические модели. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) предлагает три основные биокинетические модели для оценки доз облучения:

а) модель абсорбции трития в кровь в виде тритиевой воды (НТО);

б) модель абсорбции трития в кровь в виде органически связанного трития (ОСТ);

с) обобщенные модели для системы органов дыхания, в которых определены оценки параметров абсорбции при вдыхании нерастворимых форм трития, используемых в промышленности, включая металлические тритиды.

В обновленной версии отчета более четко и структурированно представлен раздел, посвященный результатам экспериментальных исследований эффектов облучения от инкорпорированного трития у животных и результатам эпидемиологических исследований когорт, подвергшихся воздействию трития.

Существует ряд причин, по которым биологические эффекты трития вызывают особый интерес:

— из-за низкой энергии тритий характеризуется низкой радиотоксичностью и, следовательно, регламентирующие пределы выбросов в окружающую среду достаточно высокие (обычно порядка ТБк), что вызывает опасения со стороны населения;

— тритий легко инкорпорируется в органические молекулы (в т. ч. ДНК), которые участвуют в обмене веществ внутри организма.

Лабораторные исследования на животных показали, что тритий оказывает влияние на развитие зародыша и плода, а также повышает риск рака и генетических эффектов. Кроме того, воздействие больших доз трития в виде НТО или тритий-меченого тимидина приводят к развитию острого лучевого синдрома.

Население подвергается облучению тритием в очень малых дозах, который попадает в организм, в основном, из окружающей среды. Работники предприятий могут подвергаться профессиональному облучению от инкорпорированного трития в различных химических и физических формах в широком диапазоне доз. Зафиксировано несколько случаев профессионального облучения работников (Россия, Германия) в больших дозах, что привело к развитию острого лучевого синдрома, включая летальные случаи.

НКДАР ООН провел обзор эпидемиологических исследований работников, подвергшихся облучению от инкорпорированного трития, их потомков и населения территорий, расположенных неподалеку от предприятий атомной промышленности. На сегодняшний день ни в одном из исследований не показано увеличение заболеваемости раком или врожденных пороков развития у людей вследствие внутреннего облучения от инкорпорированного трития.

В то же время радиационный риск, вследствие воздействия внутренних эмиттеров, сложнее оценить, чем риск при внешнем облучении. Во-первых, оценки поглощенных доз излучения в различных органах и тканях содержат в себе большие неопределенности, так как они зависят от физических и химических характеристик радионуклида, путей поступления в организм, метаболизма и распределения трития в органах и тканях. Во-вторых, поглощенные дозы от инкорпорированного трития не могут быть измерены непосредственно, а рассчитываются на основе измерений его активности в биологических образцах (например, в моче) с использованием биокинетических и дозиметрических моделей, которые имеют существенные неопределенности.

Комитет обсудил существенно обновленный раздел, касающийся относительной биологической эффективности (ОБЭ) бета-излучения от трития в сравнении с рентгеновским и гамма-излучениями. Значения ОБЭ оценены равными 1,5 и 2–2,5 для рентгеновского и гамма-излучений, соответственно. Как и ожидалось, значения ОБЭ, полученные в ходе тех или иных экспериментов, существенно отличаются друг от друга в зависимости от выбора референсного излучения, для различных биологических эффектов, а также условий облучения.

В обновленной версии отчета был расширен раздел «Необходимость в дальнейших исследованиях». НКДАР ООН считает этот раздел очень важным, так как именно в нем сформулированы все вопросы, на которые нет однозначных ответов на сегодняшний день. Чтобы оценить риск эффектов на здоровье от инкорпорированного трития и понять механизмы радиационно-индуцированных эффектов, необходимо продолжить исследования по следующим направлениям:

1) *Микрораспределение трития.* Органические формы трития распределяются в тканях и клетках организма неравномерно. Поэтому возникает вопрос,

правильно ли использовать понятие средней поглощенной дозы на орган при анализе риска. Очень важно разработать подходящий микродозиметрический подход, с помощью которого можно лучше понять распределение различных органических форм трития в клетке, в тканях и органах. Особенно важное значение этот подход имеет для половых клеток, эмбриона, плода и детей грудного возраста.

2) *Относительная биологическая эффективность.* Следует использовать новейшие методики, чтобы получить больше информации об относительной биологической эффективности трития, особенно ОСТ, не только фокусируясь на аспектах канцерогенеза, но и обязательно принимая во внимание различные неопухолевые эффекты. Необходимо серьезное исследование влияния трития на репродуктивное здоровье и на медицинские эффекты у детей. Приоритет необходимо отдавать исследованиям, целью которых является исследование реальных ситуаций, например, длительное поступление НТО/ОСТ с пищей.

Критической оценке должны быть подвергнуты данные о потенциальной индукции наследственных/трансгенерационных эффектов при облучении от инкорпорированного трития. Комитет рекомендует использовать новые подходы и методы при планировании исследований, учитывая последние достижения в области биологии и медицины.

3) *Исследования механизмов развития радиационно-индуцированных эффектов от инкорпорированного трития.* В исследованиях механизмов развития эффектов особое внимание необходимо уделять повреждениям клеток, а также типу и частоте повреждений ДНК, возникающих от бета-излучения трития. Кроме того, отсутствуют данные по метаболизму и биологическим эффектам воздействия органического трития (третий-содержащих биохимических веществ) в ситуациях, связанных с аварийным или хроническим облучением.

4) *Окружающая среда.* Не до конца изучено, как тритий накапливается и ведет себя в осадочных породах, как влияет на образование органического трития активность микроорганизмов, содержащихся в донных отложениях, поэтому следует усиленно накапливать данные о превращении тритиевой воды в органический тритий по пищевой цепочке с целью получить надежные количественные оценки такой конверсии. Необходимо создавать и развивать базу данных об уровнях содержания трития в объектах окружающей среды и измерениях трития в биологических образцах индивидуумов, подвергшихся его воздействию. Особенно важно создать такую базу данных для жителей регионов, расположенных вблизи предприятий, на которых используется тритий.

5) *Эпидемиология.* В настоящее время выводы эпидемиологических исследований биологических эффектов трития ненадежны из-за недостаточной статистической мощности и/или отсутствия данных о дозах облучения от инкорпорированного трития.

Чтобы продвинуться в этом направлении, необходимо скоординированное международное сотрудничество в области дозиметрии и эпидемиологии профессионального внутреннего облучения от инкорпорированного трития.

При обсуждении отчета были сделаны многочисленные замечания и дополнения по тексту. Комитет рекомендовал продолжить работу по устранению замечаний и подготовить окончательную версию отчета для одобрения Комитетом на следующей сессии с тем, чтобы опубликовать отчет в конце 2016 г.

В отличие от раздела, посвященного тритию, раздел по урану существенно не продвинулся за последний год. Это, в первую очередь, связано с тем, что нет понимания по двум фундаментальным вопросам. Известно, что инкорпорированный уран обладает как радиационной, так и химической токсичностью, но пока не ясно, как можно выделить радиационную составляющую при воздействии нуклида на организм, системы организма, отдельные органы и ткани. Кроме того, известно, что доза облучения от инкорпорированного урана зачастую значительно меньше дозы от продуктов его распада (например, радона). Также не ясно, как учесть дозу и эффекты от радиационного воздействия собственно урана?

В период между сессиями развитие раздела шло по экстенсивному пути — было добавлено огромное количество ссылок. Особенностью рассматриваемого отчета является обилие информации по биологическим эффектам воздействия урана на различные органы. К сожалению, информация из этих литературных источников серьезно не проанализирована и не систематизирована. Данные просто сведены во множество таблиц. Некоторые таблицы занимают 5–6 страниц текста и совершенно не читаемы.

Обзор построен по стандартному подходу НКДАР ООН для описания радиационного воздействия радионуклида на человека — описание источника поступления урана в организм, метаболизм и дозиметрия инкорпорированного урана, эпидемиологические исследования. Интересно отметить, что эти данные показывают преобладание воздействия химического фактора. Однако заключения о соотношении химического и радиационного воздействия урана не сделано.

Схожая ситуация и с параграфом, посвященным эпидемиологическим исследованиям. Значимое действие ионизирующего излучения на организм человека показано только в когортах урановых шахтеров. Но причем здесь уран? Общеизвестно, что основной вклад в их облучение вносит радон. Никаких доказательств наличия эффектов, связанных непосредственно с ураном, не представлено. Приведены многочисленные исследования на группах рабочих предприятий ядерно-топливного цикла. В основном это исследования «случай—контроль». Никаких доказательств влияния инкорпорированного урана в них на организм человека не выявлено. Из представленных материалов нельзя

сделать определенных выводов, так как данные исследования имеют очень низкую статистическую мощность. То же самое относится и к когортам военнослужащих, контактировавших с обедненным ураном во время войн в Персидском заливе и Югославии. Эпидемиологические исследования для лиц из населения, которое пользуется водой из колодцев с повышенным содержанием урана в воде, также не выявили увеличения риска злокачественных новообразований по сравнению с общенациональной статистикой. Таким образом, заключения об эффектах, связанных с воздействием инкорпорированного урана на организм человека, по результатам эпидемиологических исследований не сделано. Секретариат НКДАР ООН принял решение серьезно усилить группу авторов по подготовке раздела по урану, включив в ее состав авторитетных специалистов В. Рюма (Германия) и Дж. Харрисона (Великобритания). По нашему мнению, необходимо кардинально изменить схему представления материала.

Документ R.712 «Развитие ситуации после отчета НКДАР ООН 2013 г. об уровнях и эффектах радиационного облучения в результате ядерной аварии после Великого Восточно-Японского землетрясения и цунами»

Одним из центральных пунктов повестки дня 62-й сессии НКДАР ООН было обсуждение одобренного в 2013 г. на 60-й сессии отчета «Уровни воздействия и дозы облучения вследствие радиационной аварии в результате Великого Восточно-Японского землетрясения и цунами в 2011 г.». Значительное место в этом документе заняли экологические аспекты этой аварии. Центральное место занимал вопрос — имело ли место радиационное поражение биоты в регионе, подвергшемся воздействию аварии. Была проанализирована экспериментальная и расчетная информация о возможных ответных реакциях растений и животных на облучение в зоне аварийного загрязнения. При этом рассматривались экологическая дозиметрия (отдельно для наземных животных и гидробионтов) и радиационные изменения в статусе живых организмов на различных уровнях биологической организации (от молекулярного до организменного, экосистемный уровень не описывался).

При анализе оценки возможного радиационного воздействия на биоту были использованы два метода. Первый метод — экспериментальный: проводилось изучение состояния растений и животных в зоне аварии. Несомненным достоинством этого метода явились прямые наблюдения ответных реакций, а недостатком — трудность вычленения роли радиационного фактора в вероятных изменениях у представителей биоты (установления причинно-коррелятивных связей «доза — эффект»). Эти трудности усугубляются тем, что помимо облучения в ближней зоне (наибольшего радиационного воздействия) важное влияние на био-

ту оказывали нарушения, вызванные цунами. Трудна и прямая дозиметрия растений и животных в поле радиоактивного загрязнения. Кроме того, число прямых измерений параметров, характеризующих состояние растений и животных в первый период аварии, было незначительным.

Второй метод определения возможного воздействия облучения на флору и фауну в зоне аварии — расчетный: он известен в радиоэкологии как метод ERICA Tool. Сущность метода состоит в сравнении наблюдаемых эффектов (в предположении, что они имеют радиационно-индуцированную природу) у растений и животных со шкалой изученных ответных реакций импактной биоты для представительных видов в координатах «мощность дозы — эффект». Ограничением этого метода является сравнительно небольшое число реперных видов биоты, для которых построена зависимость «мощность дозы — лучевой эффект». Кроме того, в зоне аварии, естественно, распространены приспособленные к местным условиям виды растений и животных, что ограничивает их сравнение с референсными представителями живой природы (предложенными МКРЗ и НКДАР ООН). К сожалению, расчетный метод ERICA Tool по оценке возможных радиационных изменений у морских бионтов исходит из наличия равновесия концентрации радионуклидов в живых организмах и морской воде, тогда как реально в естественной водной среде такое равновесие отсутствует.

По прямым наблюдениям, отмечены изменения у травяной бабочки, причем эти изменения были генетически закреплены и передавались потомству [7]. На птицах непосредственные наблюдения [8] выявили уменьшение их численности в прямой зависимости от мощности дозы. К сожалению, корректность этих выводов была подвергнута сомнению [9].

При применении расчетного метода оценки радиационных эффектов у флоры и фауны в регионе аварии результаты были более однозначными. По современным международным стандартам, при мощностях доз облучения 10–100 мкГр/ч не отмечается признаков лучевого поражения у большинства видов растений и животных. В регионе аварии расчетные мощности дозы были заметно ниже, вследствие чего признаки радиационного повреждения развиваться не могли. Так, у кабанов, оленей, медведей и птиц отношение расчетной мощности дозы к реперной (вызывающей радиационные повреждения) колебалось от 0,28 до 0,55 [10]. Лишь в ранние сроки аварии (первые недели — месяцы) мощности дозы могли быть довольно высокими (от 2 мГр/сут — птицы до 6 мГр/сут — мелкие млекопитающие), которые могли привести к патологическим изменениям лучевой этиологии, но эти явления были преходящими и не могли серьезно отразиться на популяции [11, 12].

Как общий вывод констатировали, что в наземной флоре и фауне в зоне аварии не наблюдалось серьезных сдвигов радиационной природы. По расчетам, такого

рода негативные изменения у представителей биоты и не должны быть отмечены. Тем не менее, продолжение радиоэкологических исследований по проблеме радиационных изменений у наземной биоты в аварийной зоне считается желательным.

Значительная часть радиоактивных выпадений после аварии поступила непосредственно на акваторию Тихого океана, обусловив накопление радионуклидов в гидробионтах и их облучение. По данным Кобаяши и др. (Kobayashi et al.) [13], на океаническую поверхность выпало соответственно 50 и 60 % атмосферных ^{131}I и ^{137}Cs . Прямое поступление в океан ^{131}I и ^{137}Cs составляло соответственно 10–20 и 3–6 ПБк, а не прямое (через атмосферу) — 60–100 и 5–8 ПБк. Максимальные концентрации ^{137}Cs в морских донных отложениях вблизи места аварии достигали 10^5 Бк/кг сухого вещества.

В пресноводных экосистемах в зоне аварии мощности дозы облучения биоты в 10 раз превышали природный радиационный фон, однако эти уровни облучения не были отнесены к популяционно значимым. Максимальные мощности дозы в морских биоценозах в 2011–2012 гг. достигали у рыб 0,10–0,25 мкГр/ч, а в первые месяцы после аварии они были равны 140 мкГр/ч, что приводило к дозе в первый год 0,32 Гр. У макроводорослей наибольшие мощности дозы составляли 20 мГр/ч, а годовая доза равнялась 7 Гр. В 2012 г. концентрация ^{137}Cs в рыбе могла превышать 100 Бк/кг, что было принято тогда в Японии в качестве санитарно-гигиенического норматива, однако формируемые при этом поглощенные дозы не могли рассматриваться для биоты как существенные. Спустя 1 мес после аварии концентрации $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ в морской воде на удалении до 2000 км от места аварии превышали допустимые уровни ^{137}Cs в 100 раз и более.

Мощности дозы в озерах и реках для пресноводных рыб при плотности загрязнения ^{137}Cs 100–200 кБк/м² были равны 0,4–3 мкГр/ч, а максимальные величины достигли 3,7–6,2 мкГр/ч. Если сравнить расчетные мощности доз для различных морских гидробионтов в зоне аварии с предельно допустимыми дозами для этих видов живых организмов, установленными МКРЗ и НКДАР ООН (400 мкГр/ч) [14, 15] или по методу ERICA Tool (10 мкГр/ч, 0,4 мкГр/ч для бентосных рыб), то отношение этих величин колеблется в пределах 0,0016–0,11, т.е. роль радиационного воздействия крайне незначительна.

В окончательном виде для Генеральной Ассамблеи выводы в отношении возможного влияния аварийного радиационного воздействия на биоту сформулированы следующим образом. Во-первых, для наземных и морских организмов дозы облучения были слишком малы, чтобы вызвать острые лучевые повреждения (исключения могут коснуться только небольших участков природной среды). Во-вторых, в морской среде наиболее высокие дозы облучения имеют место в зонах с максимально высокой концентрацией радионуклидов, обусловленной прямым сбросом радиоактивных

веществ в океан. В-третьих, для ряда наземных животных (в первую очередь, млекопитающих) изменения радиационной патологии не могут быть исключены, однако их значение для жизни популяций не ясны. Какие-либо сдвиги у живых организмов, связанные с облучением, будут ограничены небольшой областью, где радиоактивные выпадения были максимальными; на остальной территории потенциальные эффекты облучения для наземной биоты незначительны.

Как важное обстоятельство в отчете Комитета было подчеркнуто, что в сферу его анализа не вошло рассмотрение защитных и реабилитационных мероприятий, которые направлены на уменьшение доз облучения населения, что, несомненно, существенно для решения различных вопросов ликвидации последствий аварии. Делегация РФ неоднократно подчеркивала, что эти аспекты проведения защитных мероприятий в окружающей среде (в первую очередь в сельскохозяйственном производстве) должны быть предметом особого внимания в будущей деятельности НКДАР ООН в рамках решения проблем, связанных с аварией на АЭС «Фукусима-1».

Документ R.710 «Эпидемиология рака от воздействий излучения окружающей среды при низкой мощности дозы»

Документ является дальнейшим развитием предыдущего отчета, рассмотренного на 61-й сессии НКДАР ООН. Цель документа — оценка риска рака, обусловленного воздействием радиации при низкой мощности дозы, и сравнение конечного эффекта с таковым при остром облучении. Документ подвергся критическому рецензированию Дж. Бойсом (J. Voise; США). Основными экспертами R.710 являлись С. Акиба (Япония); А. Акеев (Россия), М. Балонов (Россия) и Дж. Хендри (J. Hendry; Великобритания). Эксперты отредактировали и исправили документ, а секретариат рассмотрел и внес новые ссылки на источники в научное приложение.

В документе R.710 представлены данные по эпидемиологическим исследованиям следующих когорт:

1) Население побережья реки Течи, загрязненной радиоактивными отходами при выбросах в 1940-х и 1950-х гг. ПО «Маяк».

2) Население, проживающее при повышенном естественном радиационном фоне в Индии (штат Керала), в Китае (провинция Yangjiang), в Бразилии (регион Guarapari) и Ирана (штат Ramsar).

3) Жители зданий на Тайване, загрязненных ^{60}Co в результате попадания радионуклидов в металлоконструкции на металлургическом заводе.

4) Население, проживающее вокруг полигона в Семипалатинской области.

5) Население, облученное после аварии на Чернобыльской АЭС, и другие.

В своей рецензии Дж. Бойс рекомендовал пересмотреть разделы по р. Тече в соответствии с работой

Schonfeld S.J. et al. 2013 [16], в которой сделаны сбалансированные выводы и предостережения относительно переоценки эффектов. Дж. Бойс подчеркнул также, что эта публикация продемонстрировала трудность в проведении исследований эпидемиологии низкоуровневых воздействий. В исследовании [16] констатировано, что всего порядка 2 % солидных раков для когорты жителей р. Течи оказались обусловленными радиационным воздействием, причем для малых доз (до 0,1 Гр) уровень риска был ниже, чем полученный в случае экстраполяции эффекта от средних и больших доз согласно линейной беспороговой концепции (ЛБК). Обсуждался в работе [16] и возможный эффект мешающих факторов, обусловленных медицинским облучением, влиянием на избыточный относительный риск использованной системы дозиметрии и другие.

Следует заметить, что исходный вариант документа предусматривал рассмотрение только первых трех когорт, что кажется более логичным. Действительно, на р. Тече имело место внешнее и внутреннее облучения, и мощность дозы не всегда была малой, приближаясь скорее к средней [16, 17]. Уровень накопленных доз также являлся скорее средним (средние дозы — от 0,1 до 1 Гр [18]). То же самое можно сказать и про многих лиц из населения Семипалатинской области. С другой стороны, гораздо меньшая мощность дозы и преимущественно внешнее облучения имело место для регионов с повышенным естественным радиационным фоном. Что же касается жителей зданий на Тайване, то эта когорта могла бы являться классической по моделированию: имело место исключительно внешнее низкоуровневое воздействие, причем только за счет γ -излучения, и имелись относительно правдоподобные оценки накопленных доз [19, 20].

В процессе обсуждения R.710 на 62-й сессии НКДАР ООН делегаты из Белоруссии и Украины обратили внимание на недостаточную представленность чернобыльских когорт, а именно на отсутствие данных для наиболее пострадавших стран бывшего СССР. Однако подобные притязания не кажутся обоснованными, поскольку, применительно к теме медико-биологических аварии на ЧАЭС, Комитет ранее уже издавал весьма объемные, очень подробные и вполне исчерпывающие документы в 2000 и 2008 гг. [21, 22].

Значительное внимание в документе R.710 уделено вопросу о факторе дозы и мощности дозы (DDREF) [23–25]. Отмечено, что согласно рекомендациям МКРЗ и НКДАР ООН, используемый коэффициент, равный 2, в значительной степени оправдывается, исходя из данных эпидемиологии и радиобиологии. В докладе BEIR—VII [26] приведено значение DDREF, оцененное на основе байесовского статистического анализа отдельных эпидемиологических и радиобиологических данных, равное 1,5. Недавний анализ эффектов в когорте пострадавших от атомных бомбардировок привел к выводу, что пересмотр значения DDREF в BEIR—VII не был оправдан. Основной упор в критике

был сделан на то, что оценки DDREF должны проводиться только путем прямых эпидемиологических исследований. В частности, упоминался объединенный анализ стохастических эффектов в когорте работников ядерной индустрии из 15 стран [27–30]. Сделан вывод, что прямые эпидемиологические оценки риска низкогоуровневого облучения являются более приемлемыми, чем моделирование и экстраполяционные подходы, исходя из эффектов больших доз.

В процессе обсуждения А. Гонсалес (A. Gonzales) призвал вовсе отказаться от концепции DDREF, что означает признание равнозначности медико-биологических эффектов хронического и острого облучения. В дискуссии было отмечено, что отменить принцип DDREF нельзя, поскольку различия в интенсивности медико-биологических эффектов острого и хронического облучения являются научной реальностью [17, 31–33].

Развернулась дискуссия по определению малой дозы и малой мощности дозы редкоизирующего излучения (в настоящее время, согласно объединенному мнению НКДАР ООН, МКРЗ и BEIR, для излучения с низкой ЛПЭ соответственно: до 0,1 Гр и 10^{-3} мГр/мин и 6 мГр/ч, в последнем случае при воздействии не более 1 ч [31]). Дискуссия продемонстрировала некоторую путаницу понятий «малая доза» и «малая мощность дозы» (в последнем случае накопленная доза может быть совсем не мала). Это привело к тому, что ряд членов сессии расценили, что документ будет иметь значение для «успокоения» населения, пострадавшего в результате аварии на АЭС «Фукусима-1». Другие заявили, что R.710 окажет обратный эффект, поскольку почти для всех вышеперечисленных когорт, подвергавшихся хроническому радиационному воздействию, были продемонстрированы: либо статистически значимое учащение раков и/или лейкозов, либо очень явные (хотя и не достоверные) тенденции к такому учащению.

Полученные риски объясняются тем, что в большинстве случаев накопленные дозы хронического облучения никак не являлись малыми, а, обычно, средними или даже большими. В связи с этим представлять R.710 со всеми таблицами выхода раков и лейкозов в качестве пропагандистского и просветительского основания отсутствия эффектов малых доз не представляется возможным. Документ представляет сугубо научное значение.

По тексту документа R.710 был сделан ряд замечаний. В целом документ R.710 был оценен как весьма нужный и своевременный, а также весьма актуальный для использования радиации в атомной энергетике и медицине. Это мнение НКДАР ООН представляется оправданным, тем более в свете дальнейшего развития объединяющих исследований выхода раков и лейкозов радиационных работников 15 стран [27–30]. Совсем недавно была опубликована работа Cardis E. et al., 2015 [34], в которой утверждаются доказатель-

ства статистически значимого учащения смертности от радиогенных лейкозов и лимфом после облучения в малых дозах при хроническом воздействии.

Документ R.711 «Сбор, анализ и распространение данных о радиационном воздействии, включая медицинское и профессиональное облучение»

В представленном на 62-й сессии НКДАР ООН документе R.711 приведена новая информация по проблеме сбора, анализа и распространения данных о медицинском и профессиональном облучении, полученные Комитетом после предыдущей сессии. Основное внимание в документе уделено проблеме сбора данных о медицинском облучении, которое входит в план приоритетных работ НКДАР ООН в 2014–2019 гг. В документе делается акцент на следующих ключевых вопросах:

- усовершенствование базового опросника при медицинском облучении;
- обеспечение взаимодействия международных и национальных организаций при реализации технологии сбора данных;
- совершенствование возможностей сбора данных через сеть Интернета;
- создание экспертной группы по оценке фактора неопределенности при дозиметрии медицинского облучения;
- определение ответственных лиц по сбору данных медицинского облучения на национальном уровне.

В документе R.711 приводится список стран (24 страны), в которых началось выполнение работ по сбору данных медицинского облучения. Следует отметить, что с 04.12.2014 г. к этим работам присоединилась Российская Федерация.

Предполагается к февралю 2016 г. подготовить проект отчета НКДАР ООН по документу R.711 для обсуждения на 63-й сессии НКДАР ООН.

При обсуждении документа R.711 делегацией Российской Федерации было сделано предложение о необходимости создания специальной экспертной группы НКДАР ООН по выработке научно-методических подходов интерпретации собранных данных медицинского облучения с целью объективной оценки возможных радиационных рисков пациентов, которое было одобрено.

В документе R.711 также кратко рассмотрены вопросы сбора данных о профессиональном облучении работников. Предполагается в течение 2015–2016 гг. выполнить по этому направлению следующие работы: создать группу экспертов по проблеме профессионального облучения, обеспечить взаимодействие с МАГАТЭ и Европейским Союзом по технологии сбора данных, подготовить специальный опросник, обеспечивающий высокое качество сбора первичной информации.

Организационные вопросы

В рамках заседаний представителей стран участников НКДАР ООН рассматривались следующие вопросы: состояние дел по подготовке публикаций НКДАР ООН; работа с общественностью; ожидаемые результаты текущей сессии; руководящие принципы деятельности Комитета; итоги выборов председателя НКДАР ООН, его трех заместителей и репортера на 62 и 63-ю сессии; будущая программа исследований НКДАР ООН и проект отчета Генеральной Ассамблеи ООН. Констатируется, что до начала текущей сессии, законченные в 2012 г. отчеты по неопределенностям оценок риска и атрибутируемости медицинских эффектов радиационному воздействию, а также отчет по последствиям аварии на АЭС «Фукусима-1» на японском языке были опубликованы. Отмечено, что, согласно стратегическому плану НКДАР на 2014–2019 гг., объем работы в Комитете в истекшем году возрос, но объем финансирования за этот год по сравнению с 2007–2013 гг. не изменился.

НКДАР ООН в текущем межсессионном периоде планирует завершить работу над тремя отчетами («Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов», «Радиационное облучение при производстве электроэнергии» и «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов»). Во время текущей сессии основное внимание было уделено этим приоритетным проектам. По результатам обсуждения на 62-й сессии НКДАР ООН ее участники должны были направить свои письменные предложения, дополнения или замечания в Секретариат в июне–июле 2015 г.

Рассмотрена заявка на новый проект от российской делегации, которая посвящена анализу влияния предприятий ядерного цикла на биоту (исключая человека). Проект был предварительно обсужден с председателем Комитета и с руководителями делегаций Японии, Бельгии, Канады, США, Франции и Австралии, которые могут стать потенциальными участниками данного проекта.

Обсуждены руководящие принципы Бюро НКДАР ООН (новое название исполнительного органа НКДАР ООН, создание которого было одобрено на предыдущей сессии). Целью Бюро является эффективное выполнение рабочей программы Комитета в межсессионный период. Бюро будет решать также срочные вопросы, связанные с подготовкой документов НКДАР ООН и рабочей программы между сессиями; координировать деятельность делегаций, участвующих в подготовке документов НКДАР ООН; консультировать Комитет по вопросам разработки рабочей программы НКДАР ООН и другим.

На сессии также были одобрены принципы работы НКДАР ООН, изложенные в документе «Основные принципы работы Комитета». Бюро и секретариат НКДАР ООН будут продолжать распространять

данные, полученные Комитетом, среди членов Генеральной Ассамблеи, научного сообщества (например, среди участников конференций и научных симпозиумов) и среди населения. Комитет ежегодно отчитывается перед Генеральной Ассамблеей о достигнутом прогрессе в выполнении программы его деятельности и о результатах выполненных научных оценок. Констатируется, что основные решения Комитета должны приниматься на пленарных заседаниях.

Обсуждена структура проекта резолюции Генеральной Ассамблеи, которая будет включать информацию о публикационной активности, состоянии дел по научным отчетам и работе НКДАР ООН с населением. Также был принят к сведению доклад Генерального секретаря о последствиях увеличения числа членов НКДАР ООН и возможных подходах к дальнейшему увеличению. Комитет напомнил, что было принято решение рассмотреть долгосрочные стратегические направления, выходящие за рамки периода, предусмотренного в нынешнем стратегическом плане (2014–2019), с тем, чтобы информировать будущие обсуждения Ассамблеи о членстве в Комитете. Комитет обсудил информацию по данному вопросу и представит доклад о своих выводах на 71-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН.

На сессии был также заслушан текущий отчет о проведенных мероприятиях НКДАР ООН по работе с общественностью. Стратегической целью этой активности является «повышение осведомленности и углубления взаимопонимания между лицами, принимающими решения, научным и гражданским сообществами применительно к эффектам на здоровье людей и окружающую среду при различных уровнях воздействия ионизирующего излучения как прочной основы для принятия обоснованных решений по вопросам, связанным с радиацией».

Основными задачами пропагандистской, просветительской и информационной стратегии НКДАР ООН являются:

- формирование корректного и актуального информационного материала по медико-биологическим эффектам облучения для тех, кто в нем нуждается, в легко доступной форме;

- повышение осведомленности и углубление понимания новых результатов научных исследований в области медико-биологических последствий облучения, в том числе путем изложения в СМИ;

- оперативное реагирование на текущие запросы общества, касающиеся воздействий излучения;

- для углубления понимания работы НКДАР ООН и его выводов об эффектах и уровнях радиационного воздействия – проведение общественных мероприятий среди всех заинтересованных сторон; в частности, среди лиц, принимающих решения, и их советников, преподавателей и студентов, а также журналистов.

Выработаны три принципиальных элемента информационно-пропагандистской стратегии НКДАР ООН:

- развитие общедоступного Веб-сайта;
- расширение перечня публикаций;
- дальнейшее повышение взаимодействия со СМИ и другими заинтересованными сторонами.

Особое значение на 62-й сессии было уделено правильному информированию японской и мировой общественности о событиях на АЭС «Фукусима-1» и ожидаемых после этой аварии медико-биологических эффектах. Наблюдался значительный интерес к отчету НКДАР ООН [35], и особенно у общественности Японии.

За период, прошедший с предыдущей, 61-й сессии НКДАР ООН (2014 г.), состоялись два визита представителей НКДАР ООН в Японию. Поскольку контакт с жителями на местах в связи с психологическими проблемами у них представлял большое затруднение, делегация НКДАР ООН ограничивалась рассмотрением только научных вопросов. Секретариатом НКДАР ООН намечены конкретные дальнейшие планы в информационно-просветительской деятельности на последующие годы.

Российская делегация представила заявку на проект («Оценка радиационного воздействия на биоту объектов атомной энергетики»), которая получила принципиальную поддержку Комитета. Дальнейшая проработка проекта, подготовка Рабочей группы и более детальной программы позволит развить проект и обосновать его необходимость для развития атомной промышленности.

Принято решение, что следующая сессия НКДАР ООН состоится 27 июня—1 июля 2016 г. в Вене.

Заключение

С 1 по 5 июня 2015 г. в Вене в рамках 62-й сессии НКДАР ООН состоялось обсуждение текущих проектов НКДАР ООН. В работе сессии приняли участие делегации 27 стран — членов НКДАР ООН. В текущем году НКДАР ООН отметил свое 60-летие. Со времени создания НКДАР ООН в 1955 г. в круг его обязанностей входит проведение оценок источников ионизирующего излучения и его влияния на здоровье человека и окружающую среду. В соответствии с мандатом, Комитет оценивает данные о радиационно-индуцированных эффектах для здоровья облученных лиц, прогресс в понимании биологических механизмов, лежащих в основе радиационно-индуцированных эффектов для здоровья человека, и влияние на биоту. Данные оценки формируют научную базу, используемую, в частности, соответствующими органами системы ООН и другими организациями (МАГАТЭ, МКРЗ, ВОЗ) в разработке международных стандартов радиационной безопасности населения, персонала и пациентов от ионизирующего излучения.

В рамках сессии состоялось обсуждение 6 научных отчетов, программы будущих исследований и организационных вопросов деятельности Комитета. Принято решение закончить подготовку финальных вариантов отчетов по проектам «Методология оценки дозы облучения человека от радиоактивных сбросов», «Радиационное облучение при производстве электроэнергии» и «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов» к 63-й сессии НКДАР ООН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. with Scientific Annexes. Volume I: Sources. United Nations. New York. 2000. 17 pp.
2. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. with Scientific Annexes. Volume I: Sources. Scientific Annexes A and B. United Nations. New York. 2010. 137 pp.
3. Bertrand M. Consommations et lieux d'achats des produits alimentaires en 1991. INSEE résultats. Consommation-Mode de vie n°54—55. Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). Paris. 1993.
4. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume I. Annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami. United Nations. New York. 2014. 322 pp.
5. Brown J., Simmonds J.R. FARMLAND a dynamic model for the transfer of radionuclides through terrestrial Foodchains: Nrpб-R273. National Radiological Protection Board. Chilton. Didcot. 1995. 76 pp.
6. IAEA. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series № 472. International Atomic Energy Agency. Vienna. 2010. 208 pp.
7. Hiyama A., Nohara C., Kinjo S. et al. The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly // Scientific Report. 2012. Vol. 2. P. 570.
8. Möller A.P., Hagiwara A., Matsui S. et al. Abundance of birds in Fukushima judged from Chernobyl // Environ. Pollut. 2012. Vol. 164. P. 36—39.
9. Andersson P., Garnier-Laplace J., Beresford N.A. et al. Protection of the environment from ionizing radiation in a regulatory context (PROTECT): proposed numerical benchmark values // J. Environ. Radioact. 2009. Vol. 100. № 12. P. 1100—1108.
10. Beresford N.A., Barnett C.I., Jones D.G. et al. Background exposure rates of terrestrial wildlife in England and Wales // J. Environ. Radioact. 2008. Vol. 99. № 9. P. 1430—1439.
11. Garnier-Laplace J., Copplestone D., Gilbin R. et al. Issues and practices in the use of effect data from FREDERICA in the ERICA integrated approach // J. Environ. Radioact. 2008. Vol. 99. P. 1474—1483.
12. Garnier-Laplace J., Beaugelin-Seiller K., Hinton T.G. Fukushima wildlife dose reconstruction signals ecological consequences // Environ. Sci. Technol. 2011. Vol. 45. № 12. P. 5077—5078.

13. Kabayashi T., Nagai H., Chino M. et al. Source term estimation of atmospheric release due to Fukushima Nuclear Power Plant accident by atmospheric and oceanic dispersion simulations // *J. Nucl. Sci. Technol.* 2013. Vol. 50. № 1. P. 255–264.
14. ICRP Publication 108. Environmental Protection – the Concept and Use of Reference Animals and Plants // *Annals of the ICRP*. Amsterdam-New York: Elsevier. 2009. 244 pp.
15. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. with Scientific Annexes. Volume II: Effects. United Nations. New York. 2011. 17 pp.
16. Schonfeld S.J., Krestinina L.Y., Epifanova S. et al. Solid cancer mortality in the Techa River Cohort (1950–2007) // *Radiat. Res.* 2013. Vol. 179. № 2. P. 183–189.
17. Аклеев А.В. Хронический лучевой синдром у жителей прибрежных сел реки Теча. Челябинск: Книга. 2012. 464 с.
18. Котеров А.Н. От очень малых до очень больших доз радиации: новые данные по установлению диапазонов и их экспериментально-эпидемиологические обоснования // *Мед. радиол. и радиац. безопасность.* 2013. Т. 58. № 2. С. 5–21.
19. Lee J.S., Dong S.L., Hu T.H. Estimation of organ dose equivalents from residents of radiation contaminated buildings with Rando phantom measurements // *Appl. Radiat. Isotopes*. 1999. Vol. 50. № 5. P. 867–873.
20. Luan Y.C., Chen W.L., Wang W.K. The experiences in practicing of the radiation protection measures based on ICRP recommendation in Taiwan // In: *The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health*. Ed. by WONUC – Elsevier Science B.V. 2000. P. 503–511.
21. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. with Scientific Annex. Annex J. Exposures and Effects of the Chernobyl Accident. New York. 2000. P. 451–566.
22. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly. with Scientific Annex. Annex D. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. United Nations. New York. 2011. P. 47–219.
23. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly. with Scientific Annexes. Annex A. Epidemiological studies of radiation and cancer. United Nations. New York. 2008. P. 17–322.
24. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. with Scientific Annex. Annex I. Epidemiological evaluation of radiation-induced cancer. United Nations. New York. 2000. P. 297–450.
25. UNSCEAR 2012. Report to the General Assembly. with Scientific Annexes. Annex A. Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks. United Nations. New York. 2015. 86 pp.
26. BEIR VII Report 2006. Phase 2. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. National Research Council. (<http://www.nap.edu/catalog/11340.html>. см. также http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=11).
27. Cardis E., Vrijheid M., Blettner M. et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries // *BMJ*. 2005. Vol. 331. № 7508. P. 77–82.
28. Cardis E., Vrijheid M., Blettner M. et al. The 15-Country Collaborative Study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks // *Radiat. Res.* 2007. Vol. 167. № 4. P. 396–416.
29. Vrijheid M., Cardis E., Blettner M. et al. The 15-Country Collaborative Study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: design, epidemiological methods and descriptive results // *Radiat. Res.* 2007. Vol. 167. № 4. P. 361–379.
30. Vrijheid M., Cardis E., Ashmore P. et al. Ionizing radiation and risk of chronic lymphocytic leukemia in the 15-country study of nuclear industry workers // *Radiat. Res.* 2008. Vol. 170. № 5. P. 661–665.
31. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly. with Scientific Annex. Annex G. Biological effects at low radiation doses. United Nations. New York. 2000. P. 73–175.
32. Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа. 2004. 549 с.
33. Аклеев А.В. Реакция тканей на хроническое воздействие ионизирующего излучения // *Радиац. биология. Радиоэкология*. 2009. Т. 49. № 1. С. 5–20.
34. Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D. Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study // *Lancet Haematol.* 2015. Vol. 2. No. 7. e276–e281. ([http://dx.doi.org/10.1016/S2352-3026\(15\)00094-0](http://dx.doi.org/10.1016/S2352-3026(15)00094-0)).
35. UNSCEAR 2013. Report to the General Assembly. with Scientific Annex. Annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami. United Nations. New York. 2014. 311 pp.

Поступила: 08.12.2015

Принята к публикации: 14.12.2015

**С.Б. Алиева¹, А.В. Назаренко¹, И.А. Задеренко², Л.И. Лебедева¹,
Р.Р. Каледин¹, Е.Л. Дронова¹, И.А. Гладиллина¹**

**ПОЗДНИЕ ЛУЧЕВЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ПОВТОРНОГО
ОБЛУЧЕНИЯ В СВЯЗИ С РЕЦИДИВОМ ПЛОСКОКЛЕТОЧНОГО
РАКА НОСОГЛОТКИ**

**S.B. Alieva¹, A.V. Nazarenko¹, I.A. Zaderenko², L.I. Lebedeva¹,
R.R. Kaledin¹, E.L. Dronova¹, I.A. Gladilina¹**

**Late Radiation Damage after Reirradiation for Recurrent Nasopharyngeal
Carcinoma**

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Введение: Частота рецидивирования рака носоглотки составляет от 8 до 58 %. Основной метод лечения — проведение повторного курса лучевой терапии, что связано с высоким риском развития тяжелых посттерапевтических осложнений.

Описание случая: Представлен клинический случай повторной лучевой терапии рецидива плоскоклеточного рака носоглотки.

Обсуждение и заключение: Частота тяжелых постлучевых повреждений при повторной лучевой терапии рецидива рака носоглотки зависит от полученной дозы и метода лечения. Применение конформной лучевой терапии в 2,5 раза уменьшает количество посттерапевтических осложнений.

Ключевые слова: рак носоглотки, рецидив, лучевая терапия, поздние лучевые повреждения

Introduction. The recurrence rate of nasopharyngeal cancer is 8–58 %. The main treatment is to conduct a repeated course of radiation therapy which is associated with a high risk of severe complications.

Case report: This article presents a case of reirradiation of recurrence squamous cell carcinoma of the nasopharynx.

Discussion and conclusion: The incidence of severe post-irradiation damage during reirradiation of recurrence nasopharyngeal cancer depends on the received dose and the method of treatment. Application of conformal radiotherapy reduces posttherapeutic complications in 2.5 times.

Key words: nasopharyngeal cancer, recurrence, radiation therapy, late postradiation complications

Введение

В последнее десятилетие отмечаются значительные успехи в лечении плоскоклеточного рака носоглотки благодаря усовершенствованию методов диагностики, появлению новой высокоточной аппаратуры для проведения лучевой терапии, а также использованию различных вариантов комплексного химиолучевого лечения. Все это позволило увеличить пятилетний локальный контроль до 80–85 %. Несмотря на такие высокие результаты лечения, локальный рецидив все еще остается основной причиной смерти у больных местно-распространенными опухолями [1, 2]. Выбор тактики лечения у таких больных и на сегодняшний день остается сложной и нерешенной проблемой.

По данным различных авторов, частота локального рецидивирования колеблется от 8 до 58 %, с медианой 34 % [3]. Возникновение рецидива, как и продолженного роста может быть обусловлен радиорезистентностью опухоли, недостаточной дозой об-

лучения или ошибками в выборе объема облучения при проведении первичной лучевой терапии.

Частота посттерапевтических осложнений у пациентов, подвергнутых повторному облучению по поводу неудач лечения, колеблется от 6 до 85 % [3–5]. Этот огромный диапазон может быть объяснен различными дозами и методами облучения, а также тем фактом, что некоторые авторы отмечают только тяжелые постлучевые осложнения. К наиболее часто встречающимся осложнениям относятся: ксеростомия, тризм, нейросенсорная тугоухость, некроз головного мозга, возникающий у 20 % больных. По данным различных авторов, смертность от осложнений составляет 2–10 % [3, 6, 7]. Частота тяжелых постлучевых повреждений зависит от полученной дозы и метода лечения. В работе Pryzant R.M. et al. [6] показано, что у пациентов, у которых общая СОД (первичная + повторная лучевая терапия) составляла более 100 Гр, частота осложнений составила 39 %, в то время как у больных, получивших дозы меньше или равные 100 Гр, — 4 %.

¹ Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина РАМН. E-mail: drsevil@mail.ru

² Московский государственный медицинский стоматологический университет, Москва

¹ N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center of RAMS. E-mail: drsevil@mail.ru

² Moscow State Medical and Dental University, Moscow, Russia

Сложность в проведении повторной лучевой терапии связана с наличием большого количества рядом расположенных критических структур, которые ранее уже получили высокую дозу облучения. При повторной конвенциональной лучевой терапии обычно используют два противоположных поля излучения 10–18 МВ с захватом большого объема ранее облученных тканей. Использование конформной лучевой терапии и IMRT позволяют подводить на облученные области (височные доли, височно-челюстной сустав, среднее ухо) менее 60 % от назначенной дозы. По данным Chang et al. при конвенциональной лучевой терапии частота тяжелых постлучевых осложнений составила 23 %, причем у 14 % больных возник некроз головного мозга, в то время как при использовании конформной лучевой терапии только в 9 % возникли тяжелые осложнения и ни у одного пациента не было выявлено некроза головного мозга [8].

Клинический случай

Мы представляем клиническое наблюдение больной Д. 75 лет, (история болезни № 88/4298). Из анамнеза: пациентка впервые обратилась в РОНЦ им. Н.Н.Блохина в апреле 1988 г. с жалобами на заложенность уха, отсутствие дыхания в правой половине носа, периодические кровотечения из носа. С сентября 1987 г. начали беспокоить слизисто-гнойные выделения из носа, по поводу чего ЛОР-врачом по месту жительства были назначены противовоспалительная терапия и физиопроцедуры (УВЧ, кварц). Лечение было неэффективно и в марте 1988 г. с подозрением на опухоль носоглотки пациентка была направлена в РОНЦ им. Н.Н.Блохина.

На диагностическом этапе с целью уточнения характера опухоли и оценки распространенности процесса проводились клинические, инструментальные и морфологические исследования.

При фиброэндоскопии верхних дыхательных путей (ФВДП) 07.04.1988 выявлено, что правая половина носоглотки занята экзофитной бугристой опухолью ярко красного цвета с выраженным сосудистым рисунком, размером 2,0 см в диаметре. Опухоль закрывала правую хоану, исходила из свода и правой боковой стенки носоглотки. Проведена биопсия из тканей опухоли. Результаты гистологического исследования №80742/88 – плоскоклеточный неороговевающий рак. По данным УЗИ – регионарные зоны без метастазов. Диагноз – рак носоглотки $T_3N_0M_0$ (III стадия).

В плане комплексного лечения больная получила один курс химиотерапии препаратами: адриамицин

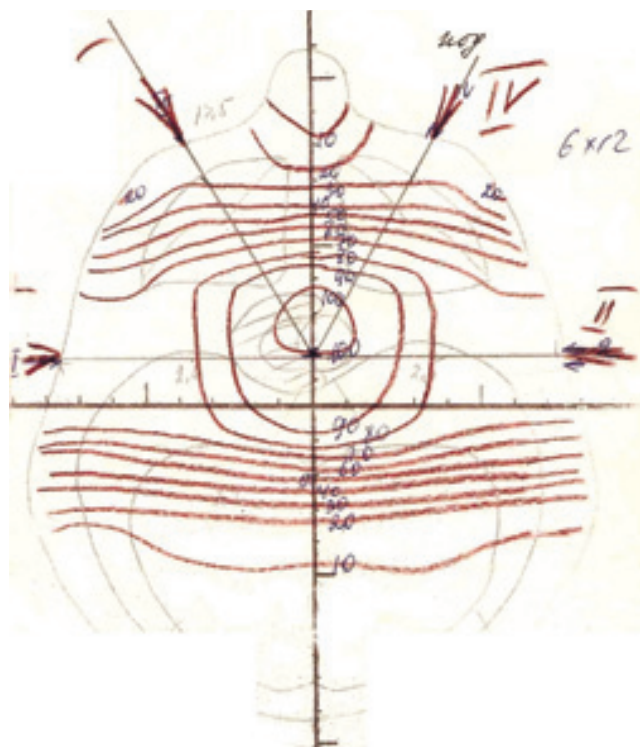


Рис. 1. Четырехпольное облучение носоглотки

С.Д. 60 мг, 5-фторурацил 1500 мг, винкристин С.Д. 3 мг. С 12.05.1988 по 01.07.1988 проводилась дистанционная гамма-терапия в режиме непрерывного курса на аппарате «Рокс». В объем облучения включалась носоглотка и регионарные зоны. Носоглотка облучалась с четырех полей, с блоками на глаза и основание черепа (2 боковых поля (6 × 8 см), 2 тангенциальных (4 × 6 см), шея и шейно-надключичные зоны с захватом верхнего средостения с одного переднего поля размером 20 × 18 см, с блоками на верхушки легких и гортань (рис. 1).

Облучение проводилось разовой очаговой дозой 2 Гр. На носоглотку СОД составила 68 Гр, на шею, шейно-надключичные зоны и верхнее средостение – 44 Гр. Отмечались выраженные лучевые реакции – сливной лучевой эпителиит, отек слизистой оболочки полости носа, гиперемия кожи шеи, гиперпигментация. При контрольном обследовании – ФВДП и рентгенографическое исследование носоглотки от 09.08.1988 все отделы носоглотки хорошо дифференцируются, опухоль не определяется.

В плане поддерживающей терапии проведено трехкратное введение циклофосфана по 2 мг в/в.

В мае 1991 г. диагностирован рецидив опухоли. При ФВДП от 22.05.1991 имеется опухолевая инфильтрация в области правого трубного валика и розенмюллеровской ямки, рентгенологическое исследование – уплотнение правой стенки носоглотки. При

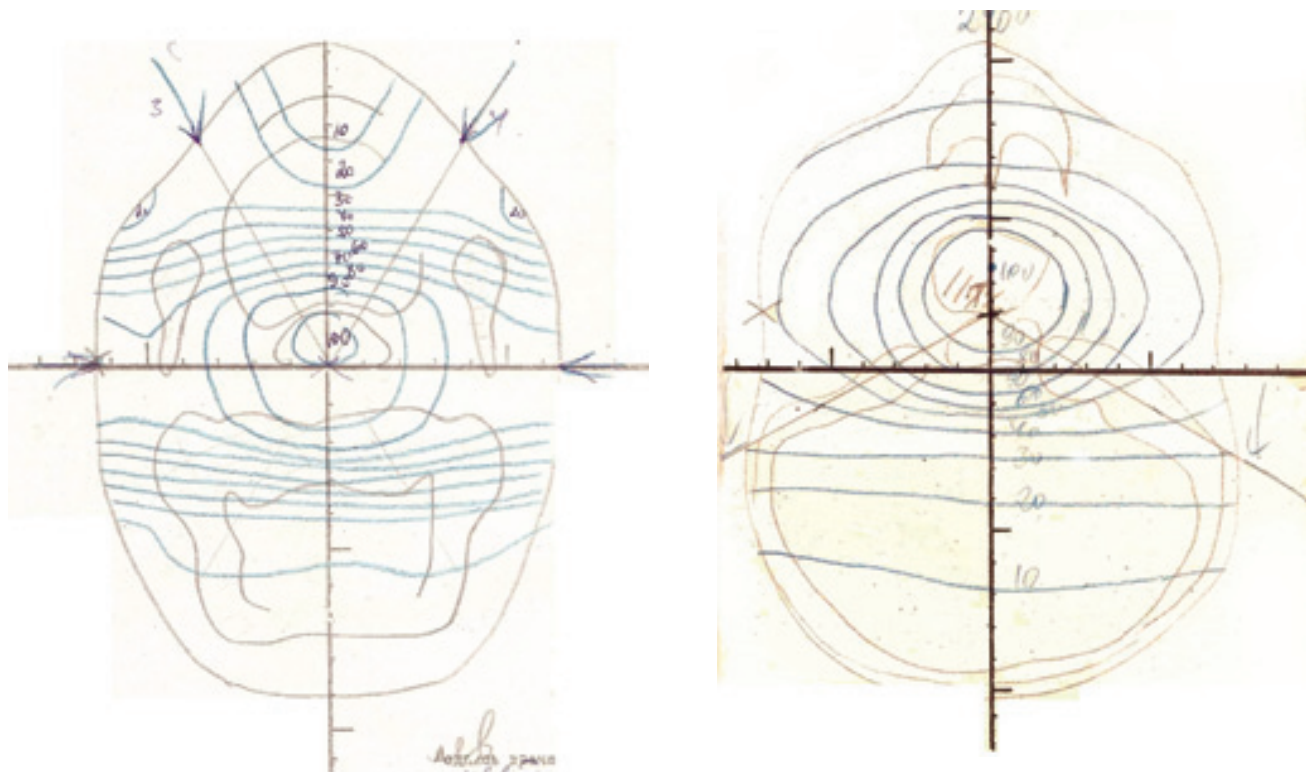


Рис. 2. Первый этап облучения — с двух боковых полей, второй этап — передняя ротация

биопсии (гистологическое заключение №5939/91) — неороговевающий плоскоклеточный рак.

С 22.05.1991 по 14.06.1991 проведено локальное облучение носоглотки на линейном ускорителе Clinac, излучением 18 МВ с двух встречных боковых полей размером 6×6 см, РОД 2 Гр, СОД 32 Гр. При промежуточном обследовании по данным ФВДП — опухоль не определялась. Через 3 недели (с 05.07 по 23.07.1991) лучевая терапия продолжена методом передней ротации на аппарате «Рокус» (поле 5×5 см) РОД 2 Гр, СОД 60 Гр за 2 этапа (рис. 2).

При контрольном осмотре от 13.09.1991 по данным ФВДП — без рецидива.

Больная наблюдалась и обследовалась каждые три месяца в поликлинике РОНЦ им.Н.Н. Блохина. Во время очередного визита от 13.03.1992 выявлено сужение устья правой слуховой трубы, рубцовые изменения в области носоглотки.

При ФВДП от 21.09.1994 — полное рубцовое сужение левой хоаны и тканей носоглотки. При осмотре ЛОР-врачом — парез мягкого неба слева, гнусавость.

В июне 1995 г. — выраженная смешанная тугоухость на правое ухо. Слизистая носа и носоглотки истончена, атрофична, с выраженным инъецированием сосудами.

В августе 2001 г. — частичная атрофия зрительных нервов, субкомпенсированная глаукома справа, начальная глаукома слева, начинающаяся катаракта обоих глаз. При ФВДП — выраженный рубцовый процесс в носоглотке. Келоидные рубцы между боковыми стенками и сводом носоглотки. При введении аппарата в устье слуховых труб определяется слизь и резкое сужение прохода слуховых труб. При МРТ головного мозга выявлены множественные очаги демиелинизации в обоих полушариях головного мозга. Больной назначен: актовегин, мексидол, винпотропил, трентал.

Осмотр невропатолога — дисциркуляторная энцефалопатия смешанного генеза.

В ноябре 2001 г. — снижение слуха на оба уха по смешанному генезу.

В апреле 2004 г. — сухой некроз свода носоглотки преимущественно слева, асимметрия мягкого неба, неподвижность левой половины неба.

В 2004 г. при ФВДП — полная атрезия левой хоаны. Еще через год тугоухость на оба уха III степени, что потребовало слухопротезирования слуховым аппаратом.



Рис. 3. Деструкция костей основания черепа

В ноябре 2007 г. — артификация и парез конвергенции справа. При КТ — краевая деструкция тела клиновидной кости.

В ноябре 2009 г. — большой дефект мягкого неба, полное отсутствие язычка мягкого неба, произведена пластика.

В декабре 2013 г. при ФВДП — перфорация костной ткани в своде носоглотки слева. Диаметр перфорации до 1 см.

КТ от 06.02.2015 — перестройка структур костей основания черепа в виде наличия участков разряжения в больших крыльях, медиальных отделах пирамид височных костей, в скате (в том числе и базиллярных отделах затылочной кости) без выраженного внекостного компонента. В проекции тела основной кости выявлена массивная зона деструкции с разрушением стенок основной пазухи и медиальных отделов больших крыльев. В клетках сосцевидного отростка правой височной кости на фоне застойных изменений определяется участок деструкции перегородок — деструктивный реактивный мастоидит.

Заключение: КТ-картина деструкции костей основания черепа (по типу асептического остеомиелита) как проявление поздних лучевых изменений (рис. 3).

Больная жива 27 лет после впервые установленного диагноза — рак носоглотки $T_3N_0M_0$. В настоящее время без рецидивов и метастазов.

Обсуждение

Новые подходы в лечении рецидивов плоскоклеточного рака носоглотки с использованием лучевой терапии в самостоятельном варианте или в сочетании с другими методами лечения позволяют достигнуть довольно высоких показателей безрецидивной и общей выживаемости у большинства пациентов.

По данным литературы, наилучшие результаты лечения получены у пациентов, подвергнутых хирургическому вмешательству в объеме резекции носоглотки с или без послеоперационной лучевой терапии, по сравнению с лучевой терапией в самостоятельном варианте. Тем не менее, для небольших рецидивных опухолей (T_1-T_2), результаты дистанционной лучевой терапии, брахитерапии или стереотаксической радиохирургии сопоставимы с результатами хирургического лечения. Высокая частота поздних постлучевых осложнений после повторного облучения ограничивает возможности использования этих методов лечения. Несмотря на появление новых возможностей в технологии проведения повторной лучевой терапии, частота посттерапевтических осложнений остается довольно высокой. В их числе некроз головного мозга, паралич черепно-мозговых нервов, остеонекроз костей основания черепа и острое на-

рушение мозгового кровообращения. Вероятность возникновения поздних лучевых повреждений зависит от локализации рецидива, объема опухоли, схемы фракционирования, общей дозы излучения, техники подведения дозы и наличия сопутствующих заболеваний.

В исследовании Lee et al. [9] частота поздних лучевых осложнений после повторного конвенционального облучения достигала 25,7 %, причем наиболее частыми были: некроз височной доли, энцефалопатия и некроз костей основания черепа. Использование конформного облучения позволило улучшить дозное распределение, уменьшив дозу на ранее облученные органы риска, и свести к минимуму риск развития неврологических осложнений. Хотя частота посттерапевтических осложнений остается довольно высокой, снизилась их тяжесть. В исследовании Chua et al. [10] после лечения по методике IMRT нарушение слуха и энцефалопатия составили 60 и 29 % от всех неврологических осложнений; у 12 % пациентов возник некроз височной доли мозга. Наиболее часто повреждения возникали у больных с местно-распространенным рецидивом.

Резюмируя данные нашего клинического случая, можно сказать, что в настоящее время созрела острая необходимость в разработке рекомендаций лечения рецидивов рака носоглотки. Выбор метода лечения для этого тяжелого контингента больных должен быть индивидуален и зависеть от локализации и распространенности рецидива, предшествующего лечения, а также аппаратного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардычев М.С. Местные лучевые повреждения и их классификация // В сб.: «Диагностика и лечение поздних местных лучевых повреждений». Обнинск. 1988. С. 3–11.
2. Алиев Б.М., Чуприк-Малиновская Т.П., Гладылина И.А., Хромышев А.Е. Анализ характера неудач при лечении рака носоглотки и результаты их лечения // Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН. 1994. № 3. С. 25–28.
3. Lee A.W., Law S.C., Foo W. et al. Retrospective analysis of patients with nasopharyngeal carcinoma treated during 1976–1985: survival after local recurrence // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1993. Vol. 26. № 5. P. 773–782.
4. Wang C.C. Re-irradiation of recurrent nasopharyngeal carcinoma: treatment techniques and results // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1987. Vol. 13. № 7. P. 953–956.
5. Yan J.H., Hu Y.H., Gu X.Z. Radiation therapy of recurrent nasopharyngeal carcinoma: report on 219 patients // Acta. Radiol. Oncol. 1983. Vol. 22. № 1. P. 23–28.
6. Pryzant R.M., Wendt C.D., Delclos L., Peters L.J. Re-treatment of nasopharyngeal carcinoma in 53 patients // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1992. Vol. 22. № 5. P. 941–947.
7. Teo P.M., Kwan W.H., Chan A.T. et al. How successful is high-dose ($> \text{ or } = 60 \text{ Gy}$) reirradiation using mainly external beams in salvaging local failures of nasopharyngeal carcinoma? // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1998. Vol. 40. № 4. P. 897–913.
8. Chang J.T., See L.C., Liao C.T. et al. Locally recurrent nasopharyngeal carcinoma // Radiother. Oncol. 2000. Vol. 54. № 2. P. 135–142.
9. Lee A.W., Foo W., Law S.C. et al. Reirradiation for recurrent nasopharyngeal carcinoma: factors affecting the therapeutic ratio and ways for improvement // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1997. Vol. 38. № 1. P. 43–52.
10. Chua D.T., Sham J.S., Leung L.H., Au G.K. Re-irradiation of nasopharyngeal carcinoma with intensity-modulated radiotherapy // Radiother. Oncol. 2005. Vol. 77. № 3. P. 290–294.

Поступила: 20.05.2015

Принята к публикации: 14.12.2015

Легеза В.И., Гребенюк А.Н., Бояринцев В.В. Комбинированные радиационные поражения и их компоненты. СПб.: ООО Издательство ФОЛИАНТ. 2015. 216 с.

Legeza V.I., Grebenyuk A.N., Boyarintsev V.V. Combined radiation injuries and their components. SPb.: Publishing Company Foliant. 2015. 216 pp.

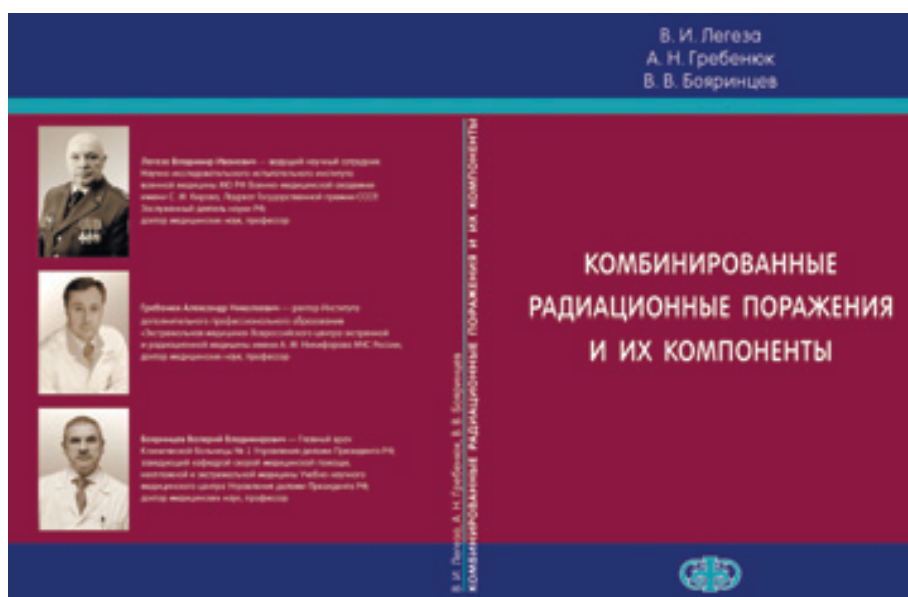
В книге изложены современные представления о патогенезе, клинике, диагностике и лечении комбинированных радиационных поражений. Приведены основные определения, виды комбинированных радиационных поражений и их классификация. Представлены сведения о механизме развития и клинических проявлениях лучевого компонента, существующих подходах к их биодозиметрии, профилактике и лечению. Описана клиника, диагностика, патогенетически обоснованные средства и методы лечения ожогового компонента. Подробно охарактеризован механический компонент комбинированных радиационных поражений, включая современные представления о патогенезе и возможностях лечения травматического шока, ран мягких тканей, переломов костей, поврежденных груди, живота, позвоночника, черепа и головного мозга.

Книга предназначена для специалистов в области радиационной медицины, гематологов, хирургов, травматологов, комбустиологов. Она может быть рекомендована в качестве учебного пособия для студентов, ординаторов, слушателей циклов профессиональной переподготовки и повышения квалификации, а также для аспирантов и преподавателей медицинских вузов.

Авторами книги являются ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского испытательного института военной медицины Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова МО РФ, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель

науки РФ, доктор медицинских наук, профессор *Легеза Владимир Иванович*, ректор Института дополнительного профессионального образования «Экстремальная медицина» Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России, доктор медицинских наук, профессор *Гребенюк Александр Николаевич*, главный врач Клинической больницы № 1 Управления делами Президента РФ, заведующий кафедрой скорой медицинской помощи, неотложной и экстремальной медицины Учебно-научного медицинского центра Управления делами Президента РФ, доктор медицинских наук, профессор *Бояринцев Валерий Владимирович*.

Рецензентами книги выступили профессор кафедры медицины катастроф Российской медицинской академии последиplomного образования Минздрава России заслуженный деятель науки РФ, доктор медицинских наук, профессор *Васин Михаил Витальевич*, заведующий кафедрой военно-полевой терапии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова МО РФ, заместитель главного хирурга Минобороны России заслуженный врач РФ, доктор медицинских наук, профессор *Самохвалов Игорь Маркеллович*, заведующий ожоговым отделением Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России — главный комбустиолог МЧС России доктор медицинских наук, доцент *Шапалов Сергей Георгиевич*.



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

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

2. Редакция использует электронный документооборот. Статьи нужно присылать по электронной почте: medradiol@fromru.com.

3. Рекомендуются использовать редактор *Word for Windows*, обязательно сохранять документ в формате **Document Word 97–2003** (выполняется через команду “save as” выбрать требуемое расширение из выпадающего меню); шрифт *Times New Roman* 12 обычный; интервал полутонный. Абзацный отступ 0,6 см устанавливается командами компьютера: «Формат – Абзац – Абзацный отступ». Выравнивание производится по левому краю, без переносов слов; поля документа 2 см. Точка после заголовков, включая фамилии авторов, а также отдельно стоящих предложений (заголовки таблиц, рисунков, надписи на рисунках и т.д.) не ставится.

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

Через одну строку прописными буквами следует **НАЗВАНИЕ СТАТЬИ**. Затем через одну строку на английском языке – **инициалы авторов и фамилии** и еще через строку – **название статьи строчными буквами**; все слова в английском названии, кроме предлогов, связок и артиклей, начинаются с прописных букв. Далее через три строки – ключевые слова, сначала на русском, затем – на английском языке:

Ключевые слова: [сами слова светлым курсивом].

Пустая строка

Key words: [сами слова светлым курсивом]

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

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

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

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

РЕФЕРАТ

Цель:

Материал и методы:

Результаты:

Выводы:

Названия разделов реферата подчеркиваются, после двоеточия текст начинается с Прописной буквы. Реферат, кроме изложения сути работы, должен содержать основную числовую информацию и **иметь объем не более одной страницы текста** через полтора интервала. При превышении этого объема реферат будет направляться на переработку.

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

ABSTRACT

Purpose:

Material and methods:

Results:

Conclusion:

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

Введение

Материал и методы

Результаты и обсуждение

Выводы (по пунктам 1, 2, 3 ...)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (прописные буквы, шрифт обычный).

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

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

Следует различать тире «—» и дефис «-» (в составных словах). Для ввода тире – сочетание клавиш Ctrl + тире вверху справа на правой (цифровой) клавиатуре, для ввода дефиса (-) – знак на основной или на правой цифровой клавиатуре.

8. Слово Таблица, например, таблица 1, располагают над таблицей у левого поля светлым курсивом. Строкой ниже следует тематическое название таблицы жирным шрифтом (строчные буквы) с выравниванием по центру, заливка по-

лей таблицы не производится. При отсутствии данных в какой-либо ячейке (ячейках) таблицы ставится прочерк в виде тире «—», а не «-». Расшифровка входящих в таблицу символов и (или) сокращений приводится в **Примечании**: (Слово Примечание с прописной буквы, шрифт полужирный), которое располагают под левым нижним углом таблицы. Текст самого примечания — светлый, без подчеркивания. Все формулы должны быть набраны в математическом редакторе Word MS Equation. Номера формул пишут прямым шрифтом у правого поля рукописи и заключаются в круглые скобки. Каждую таблицу и каждый рисунок приводят на отдельной странице.

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

Цветные рисунки, фотографии с высоким разрешением в форматах tiff/jpeg/jpg/png/gif должны быть приложены отдельными файлами, а не только вставлены в документ Word. Обозначьте для версталщика верх и низ фотографии, если это может представлять трудности при верстке. Рекомендуется не перегружать рисунки надписями в поле самого рисунка: предпочтительно различные элементы изображения пронумеровать, а расшифровку каждого номера привести в подписи под рисунком. Фрагменты рисунка должны помечаться строчными буквами кириллицы: а, б, в и т.д. Все подписи на рисунках, графиках и диаграммах, в том числе и надписи на осях координат, должны быть выполнены на русском языке. Десятичные дроби на осях координат и на поле самого рисунка пишутся через запятую, а не через точку.

На рисунки и таблицы в тексте ссылаются так: рис. 4, табл. 2.

10. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ размещается после текста статьи и формируется в виде библиографических ссылок в порядке их упоминания в тексте, безотносительно того, на каком языке они написаны. При наличии четырех авторов упоминайте всех, а при большем числе — только первых трех и далее пишете: «и соавт.» или «et al.» Затем следуют название работы и библиографические данные. Названию периодического издания (журнала) или сборника предшествует символ // (две наклонные). Журналы называются в принятых сокращениях, а монографии и сборники цитируются полностью.

Начиная с 2016 г., редколлегия журнала вводит упрощенное оформление библиографического описания литературных ссылок, принятое в отечественных академических журналах и большинстве зарубежных журналов.

После названия журнала указывают год, том (Т. или Vol.), номер журнала, начальная и конечная страницы цитируемой статьи, разделенные тире без пробелов. За названием монографии, отдельного отчета, диссертаций и т.п. указывают место издания, издательство или организацию, год выпуска. После названия сборника пишут инициалы и фамилию редактора или составителя. Курсив и полужирный шрифт при оформлении списка литературы не используются.

Следуйте примерам:

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

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

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

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

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

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

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

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

При цитировании ссылок из Интернета действуют те же правила оформления. Однако надо обязательно указывать дату обращения к электронному ресурсу, т.к. большинство сайтов имеет ограниченный срок существования.

При ссылке на наш журнал требуется указывать его том. Напоминаем тома по годам: 1980 — Т. 25; 1981 — Т. 26; ... 2008 — Т. 53; 2009 — Т. 54; 2010 — Т. 55; 2011 — Т. 56; 2012 — Т. 57; 2013 — Т. 58; 2014 — Т. 59, 2015 — Т. 60, 2016 — Т. 61.

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

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

Общие сокращения: год — г., годы — гг.; тысяча — тыс.; абсолютная единица — абс. ед.; другие — др.; единицы — ед.; область — обл.; сборник — сб.; книга — кн.; смолти — см.; то есть — т.е.; так как — т.к.; и так далее — и т.д.; тому подобное — т.п.; часть — ч.; экземпляр — экз.; объемные проценты — об. %;

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

ЗАТО — закрытое административно-территориальное образование; МКРЗ — Международная комиссия по радиационной защите; МКРЕ — Международная комиссия по радиологическим единицам и измерениям; МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергии; НКДАР ООН — Научный комитет по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций.

Радиационная физика: беккерель — Бк; мегабеккерель — МБк; килобеккерель — кБк; грей — Гр; использование внесистемных единиц активности кюри (Ки), милликюри

ри (мКи), микроюри (мкКи), а также системной единицы поглощенной дозы сГр не рекомендуется; зиверт — Зв; миллизиверт — мЗв; тесла — Тл; электронвольт — эВ; килоэлектронвольт — кэВ; мегаэлектронвольт — МэВ; символы радионуклидов пишутся как ^{137}Cs , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (m — латинское!) или цезий-137, технеций-99m, но не Cs^{137} , $\text{Tc}^{99\text{m}}$; гамма-излучение, бета-частицы, альфа-частицы; допускается написание с использованием греческого алфавита — γ -облучение, β -излучение, α -частицы; напряжение на рентгеновской трубке в пиковых киловольтах — кВп; слой половинного ослабления — СПО; тормозное излучение 6 МВ, но тормозное излучение с максимальной энергией 6 МэВ; фотоэлектронный умножитель — ФЭУ; полупроводниковый детектор — ППД; термоллюминесцентный детектор (дозиметр) — ТЛД; ИК — инфракрасный; УФ — ультрафиолетовый; ВЧ — высокочастотный; СВЧ — сверхвысокочастотный; атомная электростанция — АЭС.

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

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

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

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

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

Общая медицина: центральная нервная система — ЦНС; артериальное давление — АД; ишемическая болезнь сердца — ИБС; объем циркулирующей крови — ОЦК; скорость оседания эритроцитов — СОЭ; электрокардиограмма — ЭКГ; красный костный мозг — ККМ; гематоэнцефалический барьер — ГЭБ; желудочно-кишечный тракт — ЖКТ; головной мозг — ГМ; артериальная гипертензия — АГ; инфаркт миокарда — ИМ; простатический специфический антиген — ПСА.

Следует избегать нестандартных сокращений, которые авторы считают общепринятыми, но на самом деле неизвестны большинству читателей журнала. Сокращение следует вводить в скобках только после первого упоминания полной формы данного термина в реферате и (или) в основном тексте статьи. Употребление любых, даже общепринятых, сокращений в названии статьи недопустимо. Общее количество сокращений в статье не должно быть более 5.

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

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

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

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

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

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

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

Formatting Rules for Articles for Publication in the Journal «Medical Radiology and Radiation Safety»

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

2. Editorial board uses electronic documents. Articles should be sent by the following e-mail: medradiol@fromru.com.

3. The word processor software of *Word for Windows* is recommended, save as Version Document Word 97–2003 (via the command save as -> select the desired extension from the drop-down menu); the font of *Times New Roman 12 regular* and 1.5 line spacing are recommended. The paragraph spacing of 0.6 cm should be pre-established applying “Format – Paragraph – Paragraph Spacing”. The left margin levelling of the page text should be done without word’s breaks; document margins are 2 cm. Dots at the end of headers (including author family names) as well as at the end of separate sentences (headers of tables, pictures, picture inscriptions etc.) should not be placed.

4. The first page of the paper (no number) should be started from **initials and family names of authors** (this very order); the end-point dot is absent and the bold font is used. If co-authors are affiliated by different institutions, the footnote 1, 2 etc. should be put at the end of co-author family name with correspondent link number at the beginning of the institution name. In one line spacing, the upper case letters should be used to print the **TITLE OF THE PAPER**. The next items (in one line spacing) are initials and family names of authors (in English) and (after one more line spacing) the title of paper (in English) written in upper case letters. All the words in English title, except prepositions, ligaments and articles, should start with capital letters. Then (after three lines spacing) keywords (in Russian and then in English) should be provided:

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

Empty line

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

In the bottom of page the name(s) of institution(s) and the e-mail address of the author in-charge should be provided (obligatory for all employees).

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

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

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

ABSTRACT

Purpose:

Material and methods:

Results:

Conclusion:

The names of abstract parts should be underlined. After the colon the text should start from Upper case letter. The abstract should contain the essence of work done as well as the major numerical information; the size of the abstract should be less than one page (1.5 line spacing). Any abstracts exceeding the word limit will be sent back for adaptation.

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

7. The paper body text should be started at page 4. As a rule, papers of experimental, clinical and theoretical conceptual character should not exceed a total of 15 pages, reviews should not exceed a total of 25 pages. Papers of experimental or clinical character should have the following parts (no dots after part titles, levelling on left margin, **bold font** of 12):

Introduction

Material and methods

Results and discussion

Conclusions (list of items)

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

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

Literature reviews have: **Introduction**, **Sections** on separate issues under discussion and **Conclusions**.

Instead of abstract, the **CONTENTS** should be provided and include list of these sections. The number of references in the original papers should not exceed 10–15, in the reviews it should not be more than 50–60.

The long (“—”) and short (“-”, in multiple part word) dashes should be distinguished. All syntax signs should be followed by space. To enter a dash press Ctrl + hyphen at the top right on the right (digital) keypad, to enter a hyphen press a sign on the base or on the right numeric keypad.

8. The words of *Table 1* should be written in light italic and placed at the left above the table. The next line should contain the topical name of the table (in bold lower case letters) with central levelling; the table cells should not be shaded. The decoding of symbols and/or acronyms given in the table should be done by **Note**: (started from the upper case letter and written in bold font), which should be placed under the left lower corner of the table. The note text should not be underlined. If the table cell(s) does not contain any data the long dash “—” should be placed (no short dash “-” should be placed). The text itself of the note should be light, without underscores. All formulas should be typed in a mathematical editor Word MS Equation. Formulas should be written in regular font at the right margin of the manuscript, and

enclosed in parentheses. Each table and each figure should be on separate pages.

9. All graphs and diagrams in the picture are accepted in black – white or colour and they should be done applying MS Excel or MS Word diagrams. The editors will try to reproduce color graphics illustrations in the magazine. In all cases, charts and graphs should be placed on a white field. The grey or colour scale pictures and photographs of good clarity and contrast and resolution of 300 pixels/inch at least should be saved in tiff/jpeg/png/gif format and attached as separate files (pictures should not be placed just into the Word document!). Mark for the maker-up the top and bottom of the photo if it may be difficult for layout. It is recommended not to overload pictures with inscriptions in picture field: it is preferable to number different elements of image and decode these numbers in the picture underneath text. Similar fragments of the picture should be marked by lower case Cyrillic letters: *a, б, в* etc.; picture files can be compressed by common used archive software. All inscriptions on pictures, graphs and diagrams (including coordinate axis inscriptions) should be done in Russian only. Decimal fractions in the coordinate axes and on the pitch of the pattern are separated by commas, not by a point. The text reference to the pictures and tables should be as follows: Fig. 4 or Table 2.

10. LITERATURE REFERENCES should be placed after the body text and formatted as the numbered list of bibliography references **in the reference order** in the body text of the paper ir-respectively to their language of quoting or inscription. In case of four and more authors only 3 first authors should be written and «*et al*» should be added. Than the title of paper and bibliography data should be provided. The name of periodical publication (journal) or compendium should be preceded by // (double slash). Journals should be named according to common used acronyms; monographs and compendium names should be given in full.

Since 2016, the editorial board of the journal introduces a simplified design of bibliographical descriptions of literature references that are accepted in the domestic in the majority of foreign academic journals.

After the name of journal the year, **volume** (bold regular font, “Vol.” should not be written), number of issue (no brackets), initial and final page numbers of quoted paper (separated by long dash and without spacing) should be given. The name of monograph, separate report, dissertation etc. should be followed by the place of publishing, publisher or organization, and the year of publication. Italics and bold are not used for the references

Please, follow to the examples below:

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

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

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

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

Akiyama M. Role of somatic mutations for risk evaluation // In: Proc. of Fukui Workshop on Health Risks: Perspectives. Ed.

by T. Sugahara, K. Torizuka, S. Kobayashi, Y. Ishii. Kyoto: Health Research Foundation. 1992. P. 172–175.

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

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

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

For citations from the Internet, the same rules are applied. However, it is necessary to indicate the date of access to electronic resources as the existence of most websites is limited.

When referencing to our journal it is necessary to write its volume referenced. Please, see below volume numbers according to years: 2008 – Vol. 53; 2009 – Vol. 54; 2010 – Vol. 55; 2011 – Vol. 56; 2012 – Vol. 57; 2013 – Vol. 58; 2014 – Vol. 59; 2015 – Vol. 60; 2016 – Vol. 61.

In order to send the materials to the editorial board via email, it is recommended to create a separate folder with the files of the article (doc. Format) and the images (formats gif / tiff / png / jpeg). You should compress your files to the ZIP format and send them as one document.

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

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

3ATO (ZATO) – closed city/ town; ICRP – International Commission on Radiological Protection; ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements; IAEA – International Atomic Energy Agency; UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

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

Diagnostic radiology: USI – ultrasound imaging; MRI – magnetic resonance imaging; MRS – magnetic resonance spectrometry; ESR – electron spin resonance; X-ray CT – computer tomography (X ray computer tomography); digital subtraction angiography – DSA; X ray image amplifier (IA); devices with charge

sensitive response – CCD (for instance, digital X ray detector with CCD matrix); metal – oxide – semiconductor – MOS (for instance, MOS capacitor); electronic optical transformer – EOT; exposition is measured in mAs; picture archive and communication system – PACS.

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

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

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

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

General medicine: central nervous system – CNS; arterial tension – AT; ischemic cardiac disease – ICD; circulated blood volume – CBV; erythrocyte sedimentation rate – ESR; electrocardiogram – ECG; red bone marrow – RBM; blood-brain barrier – BBB; gastrointestinal tract – GL; myocardial infarction – MI; prostate specific antigen – PSA.

Non-standard acronyms should be avoided, when authors consider them as common used but they are not familiar to the

journal audience majority. The abridgement should be introduced in brackets only at first inclusion of this term in the abstract and/or in the paper body text. The application of any (even common used) acronyms is not permitted in the title of paper.

The total number of abbreviations in the article should not be more than 5.

12. Leave only significant numbers. For example, if the expected number of cases is 7,2, and there were only 11 observed cases, their ratio is expressed as 1.53 or even 1.5, but not as 1.5277. Please indicate no more than two figures in the decimal point for the measurement results. In the standard deviation or error of the mean there should be not more decimal places than the average. For statistical processing please explain whether it is a standard deviation or standard error (error) average. Specify the name of the statistical criterion for judging the authenticity.

“Single” numbers up to 10 are recommended to write in words, rather than in numbers. Decimal points in the abstract and in the text of the article are written through the use of a point in English.

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

The magazine “Medical Radiology and Radiation Safety”, published since 1956 and distributed by subscription as well as through the Chamber of Books, is an open scientific journal and is included in the list of High Attestation Commission of leading scientific journals recommended for publications of the research results.

Editorial board of the journal informs that it is not responsible for the information presented by the authors referring to state-secret information or to the information of restricted distribution, as well as confidential information of scientific and technological advances which may be the subject of an invention or know-how.

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