

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

---

**МЕДИЦИНСКАЯ  
РАДИОЛОГИЯ  
И  
РАДИАЦИОННАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ**

---

---

**MEDICAL RADIOLOGY  
AND  
RADIATION SAFETY**

---

**Meditsinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost**

---

**2018**

**Том 63**

**№ 5**

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

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

Журнал вошел в международную библиографическую базу данных Scopus  
и в Перечень Russian Science Citation Index (RSCI), размещенный на платформе Web of Science  
The journal entered the bibliographic database Scopus  
and the Russian Science Citation Index (RSCI), hosted on the Web of Science platform

Москва  
Moscow

# МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

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

ISSN 1024-6177 (Print)

ISSN 2618-9615 (Online)

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

**Главный редактор В.В. Уйба – д.м.н., проф.**

## Редакционная коллегия:

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

## Редакционный совет:

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

**Все статьи в журнале печатаются бесплатно**

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

## Адрес редакции журнала:

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

E-mail: medradiol@yandex.ru

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

Годовой подписной индекс Агентства «Роспечать» – 71814

Подписано в печать 01.10.2018. Формат 60 × 88/8

Печать офсетная. 11,0 усл. печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии ФМБЦ им. А.И. Бурназяна

123098, Москва, ул. Живописная, 46

---

## MEDICAL RADIOLOGY AND RADIATION SAFETY

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

ISSN 1024-6177 (Print)

ISSN 2618-9615 (Online)

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

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

## Editorial Board:

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

## Editorial Council:

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

**All articles in the journal are printed free of charge**

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

## Address of Editorial Board:

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

E-mail: medradiol@yandex.ru

The journal website: <http://www.medradiol.ru>

The annual subscription index Agency “Rospechat” – 71814

Signed to print 01.10.2018. Format 60 × 88/8

Offset printing. 11,0 conv. printed sheet. 1000 copies. Order #

Printed by SRC-FMBC

123098, Moscow, Zhivopisnaya st. 46

## СОДЕРЖАНИЕ № 5 – 2018

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	5	<b>Инновационная технология предсменного психофизиологического обследования персонала как средство повышения радиационной безопасности</b> <i>А.Ф. Бобров, В.В. Иванов, М.Ю. Калинина, Т.М. Новикова, В.В. Ратаева, В.И. Седин, В.Ю. Щепланов, Е.С. Щелканова, А.С. Самойлов</i>
РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА	11	<b>Психофизиологическая адаптация больных с местными лучевыми поражениями</b> <i>Н.А. Метляева, А.Ю. Бушманов, В.И. Краснюк, А.А. Давтян, О.В. Щербатых, Л.А. Юнанова, В.В. Кореньков, Д.С. Юнанов</i>
ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ	19	<b>Результаты комплексного лечения больных раком молочной железы, включающего реконструктивно-пластическую операцию с применением синтетических материалов, химиотерапию и конформную лучевую терапию</b> <i>Е.В. Тимошкина, С.И. Ткачёв, А.В. Назаренко, О.П. Трофимова, В.В. Глебовская, С.М. Иванов, Т.Н. Борисова</i>
ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА	26	<b>ОФЭКТ/КТ в послеоперационной диагностике функционального состояния аутотрансплантатов челюстно-лицевой области</b> <i>А.Д. Рыжков, Л.П. Яковлева, А.С. Крылов, С.В. Ширяев, М.А. Кропотов, В.А. Соболевский, Ю.Ю. Диков, Р.Б. Азимова, В.Ю. Иваишков</i>
НЕИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ	33	<b>Состояние репродуктивной системы крыс-самцов в ряду поколений, полученных от облученных родителей и подвергнутых электромагнитному воздействию от мобильного телефона</b> <i>Ю.Г. Григорьев, Н.В. Чуешова, Г.Г. Верещако</i>
РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА, ТЕХНИКА И ДОЗИМЕТРИЯ	41	<b>Линейно-квадратичная модель в планировании нейтронной терапии на циклотроне У-120</b> <i>В.А. Лисин</i>
	48	<b>Cattle's Thyroid Dose Estimation with Compartmental Model of Iodine Metabolism and Monte Carlo Transport Technique</b> <i>Yu.A. Kurachenko, N.I. Sanzharova, G.V. Kozmin, V.A. Budarkov, E.N. Denisova, A.S. Snegirev</i> <b>Оценка дозы в щитовидной железе крупного рогатого скота с помощью камерной модели метаболизма йода и расчёта транспорта излучений методом Монте-Карло</b> <i>Ю.А. Кураченко, Н.И. Санжарова, Г.В. Козьмин, В.А. Бударков, Э.Н. Денисова, А.С. Снегирёв</i>
ПОДГОТОВКА ЛУЧЕВЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ	55	<b>Краткий словарь дискуссионных терминов по медицинской радиологии, радиационной безопасности и медицинской физике</b> <i>Б.Я. Наркевич, Т.Г. Ратнер, А.Н. Моисеев</i>
РЕЦЕНЗИЯ	65	<b>Рецензия на книгу А.В. Хмелева «Ядерная медицина: физика, оборудование, технологии». – М.: НИЯУ МИФИ, 2018</b> <i>Б.Я. Наркевич</i>
ХРОНИКА	68	<b>The State of Art in Radiation Safety Regulation at the Nuclear Legacy Site on the Kola Peninsula of the Russian Federation: The Point of View of Russian and Foreign Experts</b> <i>N.K. Shandala, M.P. Semenova, V.A. Seregin, A.V. Grigoryev, M.K. Sneve, E. Lazo</i>
	73	<b>Современное состояние проблемы регулирования радиационной безопасности на объекте ядерного наследия на Кольском полуострове: точка зрения отечественных и зарубежных экспертов</b> <i>Н.К. Шандала, М.П. Семенова, В.А. Серегин, А.В. Григорьев, М.К. Сневе, Э. Лазо</i>
	77	<b>Итоги 65-й сессии Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН (Вена, 11–14 июня 2018 г.)</b> <i>В.В. Уйба, А.В. Аклев, Т.В. Азимова, В.К. Иванов, Д.Ф. Ильясов, Л.А. Карпикова, С.М. Киселев, А.И. Крышев, С.Г. Михеенко, С.А. Романов, В.Ю. Усольцев, С.М. Шинкарев</i>
ЮБИЛЕЙ		<b>К 60-летию В.В. Уйбы</b>

## CONTENTS No. 5 – 2018

RADIATION SAFETY	5	<p><b>Innovative Technologies of Pre-Shift Psychophysiological Control of Personnel as Means of Increasing Safety of Radiation and Nuclear Enterprises and Objects of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM</b>  <i>A.F. Bobrov, V.V. Ivanov, M.Yu. Kalinina, T.M. Novikova, V.V. Ratayeva, V.I. Sedin, V.Yu. Shcheblanov, E.S. Shchelkanova, A.S. Samoylov</i></p>
RADIATION MEDICINE	11	<p><b>Psychophysiological Adaptation of Patients with Local Radiation Injuries</b>  <i>N.A. Metlyaeva, A.Yu. Bushmanov, V.I. Krasnuk, A.A. Davtyan, O.V. Shcherbatykh, L.A. Yunanova, V.V. Koren'kov, D.S. Yunanov</i></p>
RADIATION THERAPY	19	<p><b>Outcomes of Combined Treatment for Breast Cancer with Immediate Implant-Based Breast Reconstruction, Chemotherapy and Conformal Radiotherapy</b>  <i>E.V. Timoshkina, S.I. Tkachev, A.V. Nazarenko, O.P. Trofimova, V.V. Glebovskaya, S.M. Ivanov, T.N. Borisova</i></p>
NUCLEAR MEDICINE	26	<p><b>SPECT/CT in the Assessment of the Jaw Autograft Viability</b>  <i>A.D. Ryzhkov, L.P. Yakovleva, A.S. Krylov, S.V. Shiryayev, M.A. Kropotov, V.A. Sobolevsky, Yu.Yu. Dikov, R.B. Azimova, V.Yu. Ivashkov</i></p>
NON-IONIZING RADIATION	33	<p><b>Reproductive System State among Generations of Male Rats, Obtained from Irradiated Parents and Subjected to Electromagnetic Interference from Mobile Phone</b>  <i>Yu.G. Grigoriev, N.V. Chueshova, <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">G.G. Vereschako</span></i></p>
RADIATION PHYSICS, TECHNOLOGY AND DOSIMETRY	41	<p><b>Linear-Quadratic Model for Planning Neutron Therapy with the Use of U-120 Cyclotron</b>  <i>V.A. Lisin</i></p>
	48	<p><b>Cattle's Thyroid Dose Estimation with Compartmental Model of Iodine Metabolism and Monte Carlo Transport Technique</b>  <i>Yu.A. Kurachenko, N.I. Sanzharova, G.V. Kozmin, V.A. Budarkov, E.N. Denisova, A.S. Snegirev</i></p>
TRAINING OF RADIOLOGICAL SPECIALISTS	55	<p><b>Brief Dictionary of Discussion Terms on Medical Radiology, Radiation Safety and Medical Physics</b>  <i>B.Ya. Narkevich, T.G. Ratner, A.N. Moiseyev</i></p>
REVIEW	65	<p><b>Review of the book A.V. Khmelev «Nuclear Medicine: Physics, Equipment, Technologies», Moscow, 2018</b>  <i>B.Ya. Narkevich</i></p>
CHRONICLE	68	<p><b>The State of Art in Radiation Safety Regulation at the Nuclear Legacy Site on the Kola Peninsula of the Russian Federation: The Point of View of Russian and Foreign Experts</b>  <i>N.K. Shandala, M.P. Semenova, V.A. Seregin, A.V. Grigoryev, M.K. Sneve, E. Lazo</i></p>
	77	<p><b>Results of the 65<sup>th</sup> Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 11–14 June, 2018)</b>  <i>V.V. Uyba, A.V. Akleyev, T.V. Azizova, V.K. Ivanov, D.F. Ilyasov, L.A. Karpikova, S.M. Kiselev, A.I. Kryshev, S.G. Mikheyenko, S.A. Romanov, V.Yu. Usoltsev, S.M. Shinkarev</i></p>
JUBILEE		<p><b>On the 60<sup>th</sup> Anniversary of V.V. Uiba</b></p>

**А.Ф. Бобров<sup>1</sup>, В.В. Иванов<sup>2</sup>, М.Ю. Калинина<sup>3</sup>, Т.М. Новикова<sup>2</sup>, В.В. Ратаева<sup>4</sup>,  
В.И. Седин<sup>1</sup>, В.Ю. Щербанов<sup>1</sup>, Е.С. Щелканова<sup>4</sup>, А.С. Самойлов<sup>1</sup>**

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДСМЕННОГО ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

1. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: baf-vcmk@mail.ru; 2. Центральная медико-санитарная часть № 91 ФМБА России, Лесной, Мурманская обл.; 3. Госкорпорация «Росатом», Москва; 4. Центр по обращению с РАО – отделение гб. Андреева СЗЦ «СевРАО» – филиала ФГУП «РосРАО», Заозерск Мурманская обл.

А.Ф. Бобров – г.н.с., д.б.н., проф.; В.В. Иванов – зав. ПНД, к.м.н.; М.Ю. Калинина – зам. директора департамента кадровой политики, к.м.н.; Т.М. Новикова – медицинский психолог; В.В. Ратаева – специалист по радиационной и экологической безопасности; В.И. Седин – в.н.с., д.м.н.; В.Ю. Щербанов – зав. лаб., д.б.н., проф.; Е.С. Щелканова – вед. специалист по контролю за внешней средой; А.С. Самойлов – генеральный директор, д.м.н., профессор РАН

### **Реферат**

**Цель:** Обоснование требований к аппаратно-программным средствам предсменного психофизиологического контроля и оценка эффективности использования технологии виброизображения при предсменных психофизиологических обследованиях персонала радиационно и ядерно-опасных предприятий и объектов ГК «Росатом».

**Материал и методы:** Проведено предсменное психофизиологическое обследование работников комбината «Электромехприбор» (20 чел.) и Центра по обращению с РАО – отделения гб. Андреева СЗЦ «СевРАО» – филиала ФГУП «РосРАО» в Заозерске Мурманской области (18 чел.). Предсменный психофизиологический контроль проводился в течение трех месяцев. В ходе исследования проводились измерения артериального давления, оценка самочувствия, активности и настроения. Психофизиологическое состояние оценивалось по данным инновационной технологии получения и контроля виброизображения с использованием программы ВибраСТАФФ.

**Результаты:** Сформулированы требования к аппаратно-программным средствам предсменного психофизиологического контроля персонала, включающие в себя оперативность, системность и индивидуальность. Установлена взаимосвязь построенного по параметрам виброизображения критерия допуска к работе с показателями методик оценки функционального состояния центральной нервной и сердечнососудистой систем, а также с уровнем психофизиологической адаптации работника. Использование при принятии решения о допуске/недопуске индивидуальной нормы позволяет оценить соответствие психофизиологического состояния работника обычному для него уровню, степень соблюдения необходимых режимов труда и отдыха. Показано, что сравнение характеристик психофизиологического состояния до и после работы позволяет путём вычисления психофизиологической «цены» деятельности оценить влияние на работника факторов трудового процесса.

**Заключение:** Повышение надёжности человеческого фактора является одним из основных путей повышения радиационной и ядерной безопасности предприятий и объектов ГК «Росатом». Это требует совершенствования методов и средств психофизиологического обеспечения. В первую очередь – методов, средств и критериев предсменных психофизиологических обследований. Разработанные требования к аппаратно-программным средствам предсменного психофизиологического контроля и инновационная технология оценки параметров виброизображения позволяют оперативно (в течение 1 мин) получать решение о допуске/недопуске к работе. Её практическое использование дает возможность по данным предсменного психофизиологического контроля своевременно принимать организационные, медицинские и другие управленческие решения в целях повышения радиационной и ядерной безопасности предприятий и объектов ГК «Росатом».

**Ключевые слова:** виброизображения, предсменные медицинские осмотры, предсменные психофизиологические обследования, психофизиологическая адаптация, психофизиологическая «цена» деятельности, радиационная безопасность, человеческий фактор

Поступила: 18.04.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

### **Введение**

Обеспечение безопасности радиационно- и ядерно-опасных технологий является приоритетной задачей всех служб Госкорпорации «Росатом» (ГК «Росатом») и научных организаций, участвующих в решении данной задачи. К настоящему времени достигнут такой уровень радиационной безопасности предприятий и объектов ГК «Росатом», что в штатных условиях их функционирования воздействие ионизирующего излучения на персонал, население и окружающую среду практически исключается. Поскольку указанные технологии находятся под управлением человека, то, как и в любой системе человек–машина, он является в ней самым слабым звеном. Свидетельство этому – данные литературы по авариям в различных отраслях народного хозяйства.

Для повышения надёжности человеческого фактора на предприятиях и объектах ГК «Росатом» создают-

ся лаборатории психофизиологического обеспечения профессиональной надёжности персонала организаций Госкорпорации «Росатом»<sup>1</sup>, а в медицинских организациях ФМБА России – лаборатории/кабинеты психофизиологического обследования (ПФО) персонала курируемых ими предприятий<sup>2</sup>. Пока такой приказ предназначен для медицинских организаций ЗАТО, но его предполагается распространить и на все медицинские организации ФМБА России.

<sup>1</sup> Приказ Госкорпорации «Росатом» от 26.02.2018 г. № 1/202-п «Об организации и проведении психофизиологических обследований работников организаций Госкорпорации «Росатом», расположенных в закрытых административно-территориальных образованиях».

<sup>2</sup> Приказ ФМБА России от 18 июля 2017 г. № 142 «О создании подразделений психофизиологического обследования в медицинских организациях ФМБА России».



Основной целью ПФО работников является выявление психофизиологических отклонений, которые могут свидетельствовать о наличии медицинских противопоказаний для продолжения работы, связанной с воздействием вредных и (или) опасных производственных факторов, своевременного выявления заболеваний, в том числе социально значимых, начальных форм профессиональных заболеваний, своевременного проведения профилактических и реабилитационных мероприятий, направленных на сохранение здоровья и восстановление трудоспособности работников [1]. Виды ПФО и порядок их проведения регламентированы соответствующими методическими рекомендациями<sup>3</sup>.

Для всех видов психофизиологического обследования работников предприятий атомной отрасли (предварительных, периодических (ежегодных) и предсменных) наименее разработанными являются методы предсменного психофизиологического контроля. Их важность признаётся специалистами различных организаций и ведомств, занимающихся вопросами психофизиологического обеспечения персонала: на транспорте, в гражданской и военной авиации, атомной, химической промышленности, электроэнергетике и других отраслях народного хозяйства, на предприятиях которых используются потенциально опасные технологии. Это связано с тем, что несоответствие психофизиологического состояния работника перед началом работы (вследствие начинающегося заболевания, нарушения режимов труда и отдыха, бытовых конфликтов и др.) требованиям деятельности является одной из ведущих причин увеличения ошибок в работе, снижения продуктивности труда, увеличения производственного травматизма. Однако в существующем законодательстве регламентировано только проведение предсменных/послесменных медицинских осмотров<sup>4</sup>.

В существующих системах предсменного психофизиологического обследования (ППФО) в большинстве случаев используются сенсомоторные методики с добавлением методики оценки variability сердечного ритма (ВСР). При использовании одного рабочего места продолжительность ППФО составляет до 5 мин. Для увеличения пропускной способности рабочие места могут объединяться в локальную сеть. В атомной отрасли ППФО в требуемом объёме до настоящего времени не внедрены.

Целью исследования являлось обоснование требований к аппаратно-программным средствам предсменного психофизиологического контроля и

оценка эффективности использования технологии виброизображения [2] при ППФО персонала радиационно- и ядерно-опасных предприятий и объектов ГК «Росатом».

### Материал и методы

Объектом исследования являлось предсменное психофизиологическое состояние работников комбината «Электрохимприбор» (ЭХП) (20 чел.) и Центра по обращению с РАО – отделения гб. Андреева СЗЦ «СевРАО» – филиала ФГУП «РосРАО», г. Заозерск Мурманской области (ПВХ) (18 чел.). Предсменный психофизиологический контроль проводился в течение трех месяцев. В ходе исследования измеряли артериальное давление, и выполняли оценку самочувствия, физической активности и настроения. Психофизиологическое состояние оценивалось по данным инновационной технологии виброизображения с использованием программы ВибраСТАФФ [3]. Продолжительность тестирования одного человека не превышала 1 мин. Всего было проведено 1242 обследования.

ППФО персонала ЭХП проводилось в рамках Дорожной карты мероприятий по совершенствованию организации психофизиологического обследования работников организаций, включенных в перечень организаций отдельных отраслей промышленности с особо опасными условиями труда, в создаваемых лабораториях психофизиологического обследования в медицинских организациях ФМБА России в ЗАТО (2017–2018 гг.) № 32-013/241-2017 г., а персонала ПВХ – по контракту PRM5 между ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России с Государственным управлением Норвегии по ядерной и радиационной безопасности (NRPA) в 2017 г.

### Результаты и обсуждение

Анализ преимуществ и недостатков существующих систем предсменного контроля показывает, что наиболее важными методологическими требованиями к ППФО являются оперативность, индивидуальность и системность.

Оперативность – способность технических средств ППФО обеспечить предсменный контроль необходимого числа работников предприятия в отведённое на это время. В атомной отрасли, в зависимости от характера предприятия, число работников, проходящих предсменный контроль, варьируется от десятков до сотен человек. Поскольку ППФО проводится в рабочее время, работодатель не заинтересован в отвлечении работника от производственного процесса. Поэтому время обследования одного человека должно быть минимальным. Пропускная способность ППФО, конечно, может быть увеличена за счёт объединения аппаратно-программных средств в локальные сети. Однако это требует наличия специальных помещений, в которых можно одновременно разместить до десятка рабочих мест. Существующие медицинские пункты на

<sup>3</sup> Методические рекомендации Р ФМБА России 2.2.9.84 – 2015 «Организация и проведение психофизиологических обследований работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии, при прохождении работниками медицинских осмотров в медицинских организациях ФМБА России».

<sup>4</sup> Приказ Минздрава РФ от 15 декабря 2014 г. № 835н «Об утверждении порядка проведения предсменных, предрейсовых и послесменных, послерейсовых медицинских осмотров».

Таблица 1

**Средние значения показателей психофизиологического состояния у работников с низкими (1)  
и высокими (2) значениями D\_IND**

Показатели психофизиологического состояния	1	2
D_IND, баллы	34,6±3,2	60,9±2,9*
Среднеквадратичное отклонение времени простой зрительно-моторной реакции, мсек	37,9±5,6	45,6±2,8*
Вариационный размах времени простой зрительно-моторной реакции, мсек	162,8±27,	207,9±12,3*
Среднее время сложной зрительно-моторной реакции, мсек	570,1±27,1	612,8±18,0*
Среднеквадратичное отклонение времени сложной зрительно-моторной реакции, мсек	100,1±12,2	119,4±9,1*
Вариационный размах времени сложной зрительно-моторной реакции, мсек	437,1±51,3	539,3±43,7*
% попадания в цель при оценке реакции на движущийся объект	69,8±6,7	59,1±4,3*
Амплитуда моды точности попадания в цель, %	57,4±4,8	49,2±2,6*
Амплитуда моды длительности кардиоинтервалов ЭКГ, %	41,2±5,4	51,1±3,9*
Среднеквадратичное отклонение длительности кардиоинтервалов ЭКГ, мсек	53,6±6,9	39,1±7,3*
Вариационный размах длительности кардиоинтервалов ЭКГ, мсек	229,3±25,1	168,3±31,6*
Суммарная мощность спектра кардиоинтервалов, усл.ед.	3288,4±701,1	1612,5±944,8*
Стресс-индекс Баевского (ИН), усл.ед.	184,6±58,4	276,7±46,5**

Примечание: \* – различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ), \*\* – ( $p < 0,1$ )

предприятиях атомной отрасли в подавляющем большинстве случаев такими помещениями не обладают.

Индивидуальность – решение о допуске/недопуске к работе должно приниматься не по групповым/популяционным, а по индивидуальным критериям. Работник, успешно прошедший предварительные и ежегодно проводящиеся периодические психофизиологические обследования, считается годным для выполнения профессиональных обязанностей. При этом решение принимается по групповым нормам. Но каждый человек находится под воздействием множества факторов жизнедеятельности. Факторы условий труда являются достаточно стабильными в условиях штатного функционирования предприятия. Наиболее изменчивыми являются социально-бытовые факторы, формирующие общий «фон» жизни. При предсменном психофизиологическом контроле должно оцениваться, насколько состояние работника выходит за рамки типичного для него психофизиологического состояния с дальнейшим выяснением возможных причин такого отклонения. Для реализации данного принципа в программном обеспечении систем ППФО должен быть предусмотрен расчёт индивидуальных норм с дальнейшим их уточнением по мере получения новых данных.

Психофизиологическое состояние – системная реакция организма на внутренние и внешние стимулы и факторы. Очевидно, что при ППФО исключается оценка психического состояния с использованием традиционных психодиагностических тестов. Оценка психофизиологических функций с использованием различного типа сенсомоторных методик является доступной для ППФО, но явно недостаточной, поскольку позволяет оценить только функциональное состояние ЦНС. Также доступной является оценка состояния физиологических функций с использованием методики оценки ВСР. Но одна эта методика также является недостаточной для ППФО. Поэтому сформулированное выше требование системности говорит о том, что объектом оценки при ППФО должны являться не от-

дельные, а комплексные характеристики психофизиологического состояния.

Инновационной методикой, удовлетворяющей всем перечисленным выше требованиям, является технология оценки параметров виброизображения с использованием алгоритмов принятия решения о допуске/недопуске к работе, разработанных специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

В качестве критерия допуска/недопуска к работе используется показатель «Индекс допуска» (D\_IND, баллы), рассчитываемый по параметрам виброизображения. Его низкие значения соответствуют характеристикам психофизиологического состояния работника, удовлетворяющим, а высокие – не удовлетворяющим требованиям деятельности. В табл.1 приведены основные показатели психофизиологического состояния при высоких (2) и низких (1) значениях D\_IND, отличающиеся с вероятностью не менее 90 % ( $p < 0,1$ ). Сравнение проводилось по данным периодических ПФО работников основного цеха, включая данные проходивших ППФО.

Как следует из приведённых данных, психофизиологическое состояние лиц с высокими значениями D\_IND характеризуется более высоким уровнем напряжения регуляторных механизмов ЦНС (сниженная устойчивость простой и сложной зрительно-моторной реакции, худшие антиципационные способности), напряжением регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы и организма в целом, проявляющимся в снижении вариабельности кардиоинтервалов, суммарной мощности спектра и увеличении стресс-индекса.

С использованием D\_IND выдаётся один из трех вариантов заключения: 1) допуск к работе; 2) условный допуск к работе; 3) недопуск к работе. Решение 1 выдаётся при значениях D\_IND, меньших верхней 80 %-ой границы индивидуальной нормы (зона ДОП = 1), решение 2 – при значениях D\_IND в интервале между верхними границами 80 и 95 % индивидуальной нормы (зона ДОП = 2), решение 3 – при превышении зна-

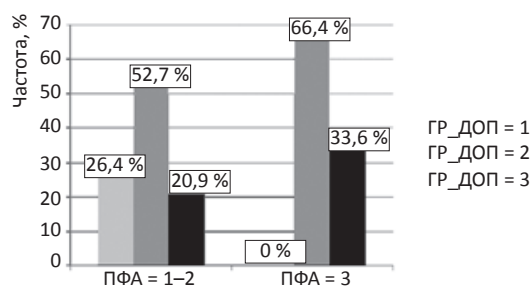


Рис. 1. Частота группы допуска у работников без нарушения (ПФА = 1-2) и с нарушениями (ПФА = 3) психофизиологической адаптации

чений D\_IND верхней границы 95 % индивидуальной нормы (зона ДОП = 3).

Установлено, что для персонала ЭХП из 497 наблюдений только в 17 случаях (3 %) выдавалось заключение о недопуске к работе. В 47 случаях (9 %) допуск к работе был условным. Для персонала пункта временного хранения (ПВХ) указанные заключения соответственно встречались в 5,1, 10,9 % случаев из 745 наблюдений. Это свидетельствует о том, что факторы производственной и социально-бытовой среды не оказывают существенного влияния на психофизиологическое состояние персонала перед началом работы. Работники, в целом, правильно соблюдают режимы труда и отдыха, не допускают их нарушения.

Поскольку в динамике исследования заключений «К работе не допускается» было мало как на ЭХП, так и на ПВХ (в сумме 8,1 %), было проведено агрегирование данных. В его результате был сформирован новый классификационный признак «Группа допуска» (ГР\_ДОП). Значение ГР\_ДОП = 1 соответствует работникам, не имевшим в динамике ППФО заключения «К работе не допускается». В группу ГР\_ДОП = 2 вошли работники, не имевшие заключений «К работе не допускается», а заключение «К работе допускается условно» в среднем встречалось менее чем 10 % случаев. Работники, имевшие в динамике обследований заключения «К работе не допускается», были отнесены к 3-й группе.

Сравнение результатов ППФО с группами психофизиологической адаптации (ПФА) по данным периодических ППФО приведено на рис. 1.

Как следует из приведённых данных, среди работников с нарушением ПФА не встречались лица, имеющие в динамике ППФО заключения о полном допуске к работе. В 33,6 % случаев выдавалось заключение о недопуске к работе, 66,4 % – заключение об условном допуске к работе. У работников, не имеющих нарушения ПФА (группы 1 и 2), процент заключений о недопуске к работе был на 12,7 % ниже, а об условном допуске – был ниже на 13,7 %. Заключение о допуске выдавалось в 26,4 % случаев из 497 наблюдений. Полученные результаты позволяют сделать вывод о взаимосвязи результатов прохождения ППФО с группой психофизиологической адаптации, который является статистически достоверным (критерий  $\chi^2 = 80,8$ ,  $p = 0,0000001$ ).

Практическим следствием из данного вывода становится обязательное направление на ППФО работников с низким уровнем ПФА.

Самооценка самочувствия (С), активности (А) и настроения (Н) работников перед началом смены показала, что лица с низким уровнем ПФА в подавляющем большинстве случаев (в 96,5 % по С, 97,7 % по А, в 99,2 % по Н) характеризуются оценками, декларирующими соответствие указанных характеристик обычному уровню. У лиц с высоким и средним уровнем ПФА процент таких оценок по критерию  $\chi^2$  достоверно ниже: 62,4, 51,5 и 52,5 % соответственно. Это позволяет сделать вывод о том, что они, зная или ощущая существующие проблемы со своим здоровьем, с достаточным критическим отношением и открытостью сообщают об этом. Лица с низким уровнем ПФА стараются представить оценку состояния перед работой в более благоприятном свете.

Аналогичная взаимосвязь показателей С, А, Н установлена с группой допуска к работе. Так, работники, имевшие в динамике ППФО заключения «К работе не допускается», оценку «Соответствует обычному» по С получили в 71,8 %, по А – в 73,6 %, по Н – 73,6 % случаев, в то время как у работников, не имевших таких заключений, положительные оценки составляли 61, 58 и 60 % соответственно.

Полученные результаты по динамике ППФО работников ЭХП приведены на рис. 2.

Предсменное психофизиологическое состояние тестируемого № 20 в целом не выходило за границы индивидуальной нормы с общей тенденцией его улучшения (рис. 2а), в то время как состояние тестируемого № 15 (рис. 2б) имело тенденцию ухудшаться. Как следует из рис. 2в, тестируемый № 2 имел случаи условного допуска к работе на 20-й, 26-й и 29-й день, недопуска к работе – на 5-й и 27-й день ППФО. В целом его психофизиологическое состояние перед началом работы имеет высокую нестабильность с общей тенденцией к ухудшению. Для данного работника требуется консультация у цехового терапевта для выяснения причин нестабильности и ухудшения психофизиологического состояния. Тестируемый 14 (рис. 2г) имел нестабильное ППФО, что также требует выяснения причины этого.

На рис. 3 приведены примеры динамики ППФО работников ПВХ.

В целом, можно отметить, что получаемые при ППФО результаты имеют наглядный характер и позволяют своевременно принимать организационные и медицинские управляющие решения.

Оценка психофизиологического состояния до и после смены позволяет оценить психофизиологическую «цену» деятельности, т.е. влияние факторов трудового процесса на психофизиологическое состояние работников. Для персонала ПВХ установлено, что в 71,2 % случаев психофизиологическое состояние не изменялось, в 21,8 % – ухудшалось, в 7 % – улучшалось. Сравнение изменения психофизиологического состояния работников, непосредственно занятых обра-



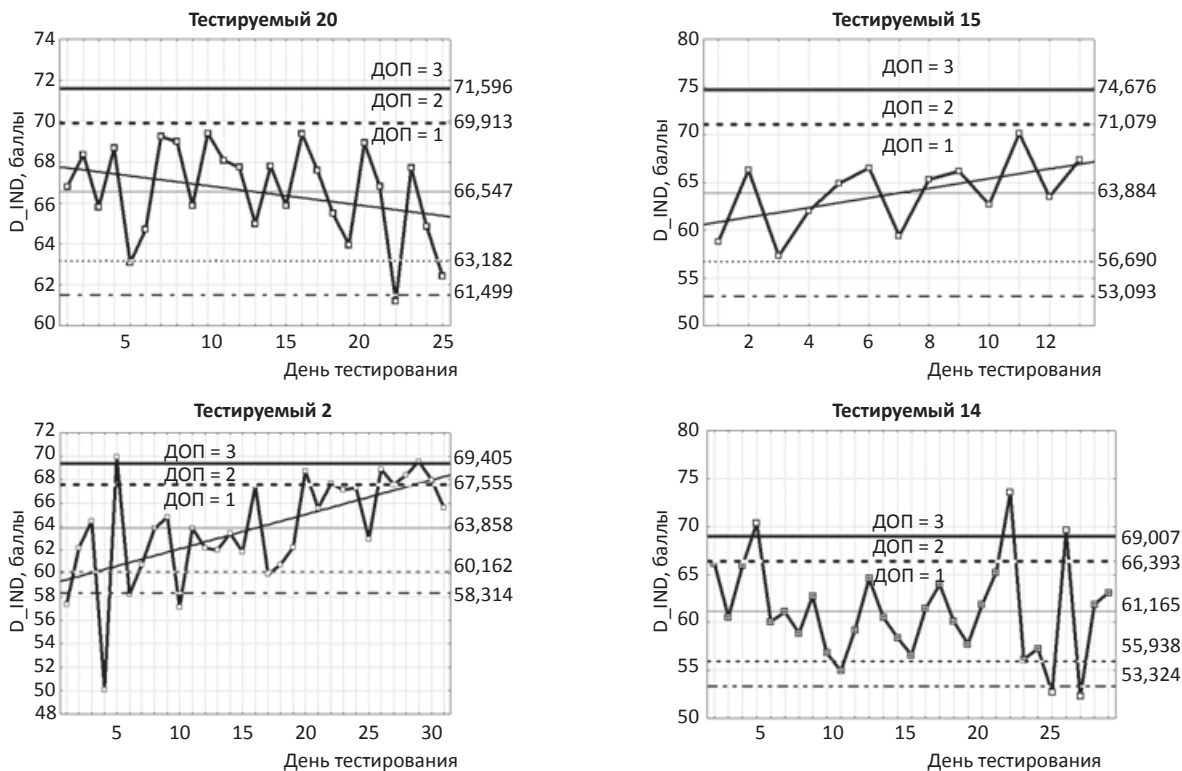


Рис. 2. Примеры динамики ППФО работников ЭХП.  
ДОП = 3 – зона недопуска, ДОП = 2 – зона условного допуска, ДОП = 1 – зона допуска к работе

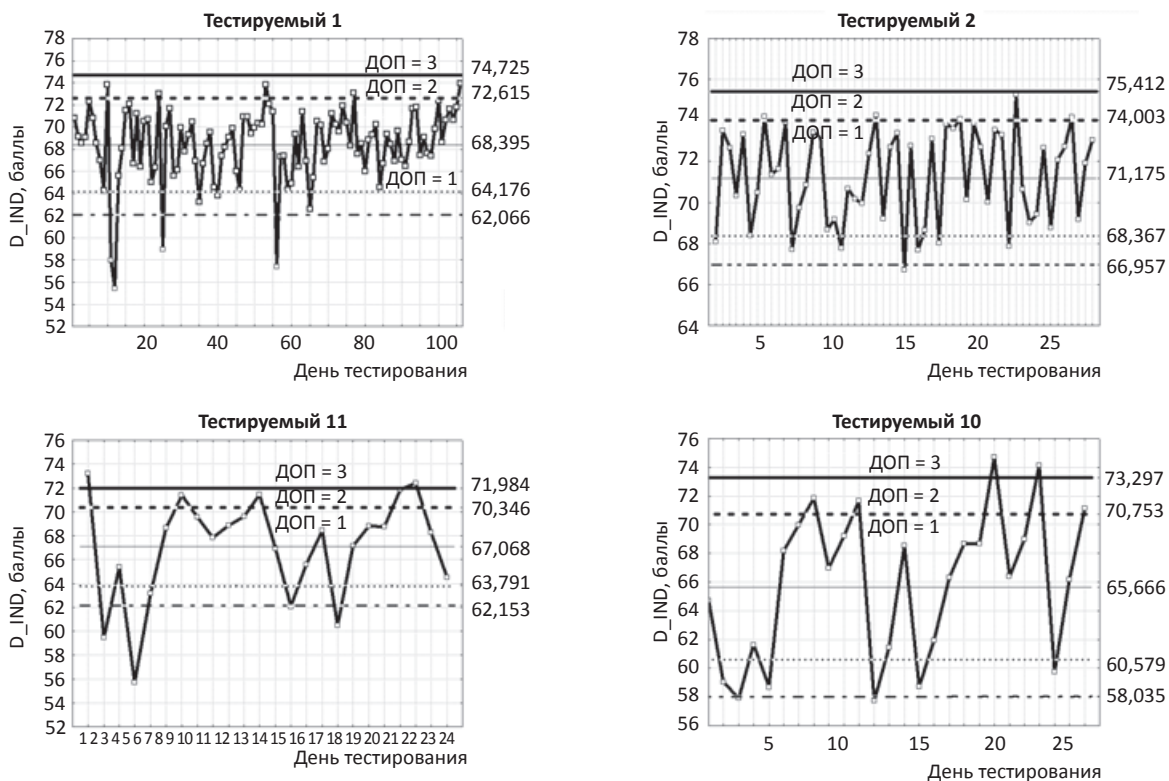


Рис. 3. Примеры динамики ППФО работников ПВХ.  
ДОП = 3 – зона недопуска, ДОП = 2 – зона условного допуска, ДОП = 1 – зона допуска к работе

нием с отработанным ядерным топливом (комплекс хранения и обращения (КХиО)), и работников службы радиационной безопасности (СРБ) показало, что если в СРБ ухудшение состояния отмечалось в 23,1 % случаях, то в КХиО – в 41,1 %. Это свидетельствует о том,

что напряженность труда в комплексе КХиО является более высокой, поскольку она связана с поднятием, перемещением грузов, монтажными и стропильными работами с использованием манипуляторов дистанционного управления, различного вида станков, рабочих

механизмов мостового крана и др. При этом работники подвержены локальной и общей вибрации, испытывают дополнительную физическую, динамическую, статическую, сенсорную нагрузку.

### Заключение

Повышение надёжности человеческого фактора является одним из основных путей повышения радиационной и ядерной безопасности предприятий и объектов ГК «Росатом». Это требует совершенствования методов и средств психофизиологического обеспечения, и в первую очередь, методов, средств и критериев предсменных психофизиологических обследований. Разработанные требования к аппаратно-программным средствам предсменного психофизиологического контроля и инновационная технология оценки параметров виброизображения позволяют оперативно (в течение 1 мин) получать решение о допуске/недопуске к работе. Её практическое использование позволяет по

данным предсменного психофизиологического контроля своевременно принимать организационные, медицинские и другие управленческие решения в целях повышения радиационной и ядерной безопасности предприятий и объектов ГК «Росатом».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А.Ф., Бушманов А.Ю., Седин В.И., Щепланов В.Ю. Системная оценка результатов психофизиологических обследований // Медицина экстремальных ситуаций. 2015. № 3. С. 13–19.
2. Минкин В. А. Виброизображение. – СПб.: Реноме, 2007.
3. Программа контроля психофизиологического состояния оператора VibraStaff. Многопрофильное Предприятие «ЭЛ-СИС». <http://psymaker.com/downloads/VIManualRuVS.pdf>. Февраль, 2018.

**Для цитирования:** Бобров А.Ф., Иванов В.В., Калинина М.Ю., Новикова Т.М., Ратаева В.В., Седин В.И., Щепланов В.Ю., Щелканова Е.С., Самойлов А.С. Инновационная технология предсменного психофизиологического обследования персонала как средство повышения радиационной безопасности // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 5–10. DOI: 10.12737/article\_5bc895f377f578.86526226

Radiation Safety

Medical Radiology and Radiation Safety. 2018. Vol. 63. No. 5. P. 5–10

DOI: 10.12737/article\_5bc895f377f578.86526226

## Innovative Technologies of Pre-Shift Psychophysiological Control of Personnel as Means of Increasing Safety of Radiation and Nuclear Enterprises and Objects of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM

A.F. Bobrov<sup>1</sup>, V.V. Ivanov<sup>2</sup>, M.Yu. Kalinina<sup>3</sup>, T.M. Novikova<sup>2</sup>, V.V. Ratayeva<sup>4</sup>, V.I. Sedin<sup>1</sup>,  
V.Yu. Shcheblanov<sup>1</sup>, E.S. Shchelkanova<sup>4</sup>, A.S. Samoylov<sup>1</sup>

1. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia. E-mail: baf-vcmk@mail.ru; 2. Central Health-Sanitary Unit № 91, Lesnoy; Murmansk region, Russia; 3. The State Atomic Energy Corporation ROSATOM, Moscow, Russia; 4. Northwest Center for Radioactive Waste Management “SevRAO”, a Branch of FSUE RosRAO, Zaozersk, Murmansk region, Russia

A.F. Bobrov – Chief Researcher, Dr. Sci. Biol., Prof.; V.V. Ivanov – Head PND, PhD Med.; M.Yu. Kalinina – Deputy Director, PhD Med.; T.M. Novikova – Medical Psychologist; V.V. Ratayeva – Specialist of Radiation and Environmental Safety; V.I. Sedin – Leading Researcher, Dr. Sci. Med., Prof.; V.Yu. Shcheblanov – Head of Lab., Dr. Sci. Biol., Prof.; E.S. Shchelkanova – Leading Specialist; A.S. Samoylov – Director General, Dr. Sci. Med., Prof. RAS

### Abstract

**Purpose:** Validation of requirements to the hardware and software of pre-shift psychophysiological monitoring and assessment of effectiveness of use of technology of the vibroimage at pre-shift psychophysiological control of personnel of radiation and nuclear dangerous enterprises and objects of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM.

**Material and methods:** Pre-shift psychophysiological control of employees of Elektrochimpribor plant (20 people) and the Northwest Center for Radioactive Waste Management “SevRAO”, a Branch of FSUE RosRAO, Zaozersk of Murmansk region (18 workers of facilities for management of spent nuclear fuel and radioactive waste). Pre-shift psychophysiological monitoring was carried out within 3 months. During the research measurement of arterial blood pressure, assessment of health, activity and mood was taken. The psychophysiological condition was estimated according to innovative technology of the vibroimage with the use of the Vibrastaff program.

**Results:** Reliability improvement of a human factor is one of the main ways of improving radiation and nuclear safety of the facilities and objects of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM. It demands improving methods and means of psychophysiological providing. First of all methods, tools and criteria of pre-shift psychophysiological control. The developed requirements to the hardware and software of pre-shift psychophysiological monitoring and innovative technology of assessment of parameters of the vibroimage allow quickly (within 1 minute) to receive the decision on the admission / not the admission to work. Its practical use gives the chance, according to pre-shift psychophysiological control in due time, to accept organizational, medical and other administrative decisions for improving radiation and nuclear safety of the enterprises and objects of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM.

**Key words:** vibroimages, pre-shift medical examinations, pre-shift psychophysiological control, psychophysiological adaptation, psychophysiological “price” of work performance, radiation safety, human factor

### REFERENCES

1. Bobrov AF, Bushmanov AY, Sedin VI, Shcheblanov VYu. System assessment of the results of psychophysiological control. *Medicine of Extreme Situations*. 2015;(3):13-9. Russian.
2. Minkin VA. *Vibroimage*. Saint Petersburg: Renome; 2007. Russian.
3. Program for monitoring psychophysiological state of the operator of VibraStaff [Internet]. Saint Petersburg: Multiprofile facility ELSIS; 2018 [cited 2018 Feb 1]. Available from: <http://psymaker.com/downloads/VIManualRuVS.pdf>. Russian.

**For citation:** Bobrov AF, Ivanov VV, Kalinina MYu, Novikova TM, Ratayeva VV, Sedin VI, Shcheblanov VYu, Shchelkanova ES, Samoylov AS. Innovative Technologies of Pre-Shift Psychophysiological Control of Personnel as Means of Increasing Safety of Radiation and Nuclear Enterprises and Objects of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2018;63(5):5-10. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc895f377f578.86526226

DOI: 10.12737/article\_5bc8960ba308e0.31051556

**Н.А. Метляева, А.Ю. Бушманов, В.И. Краснюк, А.А. Давтян, О.В. Щербатых,  
Л.А. Юанова, В.В. Кореньков, Д.С. Юанов**

## **ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ БОЛЬНЫХ С МЕСТНЫМИ ЛУЧЕВЫМИ ПОРАЖЕНИЯМИ**

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

Н.А. Метляева – в.н.с., д.м.н.; А.Ю. Бушманов – первый заместитель генерального директора, д.м.н., проф.; В.И. Краснюк – зав. отделом № 2, д.м.н.; А.А. Давтян – зав. отделением острой лучевой патологии (гематологического), к.м.н.; О.В. Щербатых – м.н.с.; Л.А. Юанова – инженер; В.В. Кореньков – заведующий спец. приемным отделением, к.м.н.; Д.С. Юанов – инженер

### **Реферат**

**Цель:** Оценка психофизиологической адаптации прошедших психофизиологическое обследование больных с местными лучевыми поражениями (МЛП) в зависимости от наличия или отсутствия установленной связи с несчастным случаем на производстве в связи с радиационной аварией или инцидентом.

**Материал и методы:** Проведено клинико-психофизиологическое обследование 57 больных с МЛП, из них 20 больных, МЛП которых не были связаны с несчастным случаем на производстве (1 группа) и 37 больных, связь МЛП у которых установлена с производством (2 группа). Средний возраст обследованных лиц  $41,6 \pm 3,1$  и  $52,0 \pm 1,6$  лет соответственно. Психофизиологическое обследование проведено с использованием автоматизированного программно-методического комплекса «Эксперт», предназначенного для исследования личностных свойств человека, когнитивных и интеллектуальных особенностей личности на основе методики многостороннего исследования личности (ММИЛ) – вариант адаптации ММРІ, методики 16-ФЛО Кеттелла, теста Равенна, простой и сложной сенсомоторных реакций (ПСМР, ССМР) и реакции на движущийся объект (РДО).

**Результаты:** Проведена клинико-психофизиологическая оценка личности и актуального психического состояния больных МЛП, имеющих установленную связь с несчастным случаем на производстве и больных, имеющих МЛП с неустановленной связью с производством. Сравнение этих оценок позволило определить основные типы нарушения психофизиологической адаптации в виде тревожно-ипохондрического типа нарушения адаптации с тенденцией к диссоциальному типу поведения, более выраженному у больных с МЛП, не имеющих установленную связь с несчастным случаем на производстве.

**Заключение:** Тревожно-ипохондрический тип нарушения психофизиологической адаптации у больных с МЛП обусловлен преимущественно обеспокоенностью состоянием физического здоровья, определившим напряжение психической адаптации с тенденцией пренебрегать социальными нормами и правилами поведения, с наклонностью к диссоциальному типу поведения, психастении, аутизации, дистанцированию, отчуждению, к аффективной ригидности, к стремлению возложить на окружающих вину за нарушение межличностных отношений, жизненных трудностей и эмоциональных конфликтов. Диссоциальный тип нарушения психофизиологической адаптации выявлялся преимущественно у больных с МЛП, не имеющих установленную связь с несчастным случаем на производстве.

**Ключевые слова:** *местные лучевые поражения, острая лучевая болезнь, психо-физиологическая адаптация, радиационный риск*

Поступила: 29.09.2017. Принята к публикации: 05.09.2018

### **Введение**

Генерирующие и радионуклидные, преимущественно гамма-излучающие источники, широко используются для рентгенодиагностики и лучевой терапии больных, для неразрушающего контроля качества изделий при дефектоскопии в промышленности, железнодорожном транспорте, в строительстве нефте- и газопроводов в России и в ряде других технологических процессах. Активности используемых источников  $Co-60$ ,  $Cs-137$ ,  $Ir-192$  в радиационных дефектоскопах составляют десятки Ки. Облучение объектов в радиационных дефектоскопах осуществляется рентгеновским, бета- и гамма-излучением, а также нейтронами. Сами источники заключены, в большинстве случаев, в переносные (транспортируемые) дефектоскопы, устройство которых при правильной эксплуатации в настоящее время исключают возможность повышенного облучения работающего с ними персонала и практически безопасны для населения. Однако именно на эти приборы приходится максимальное число инцидентов, связанных с их «выходом из-под контроля». Причинами таких ситуаций чаще всего являются гру-

бые нарушения регламента работ и/или недостаточная компетентность работающих, реже – неисправность аппаратуры.

Другую группу составляют стационарные гамма-установки. Это, прежде всего, аппараты для лучевой терапии, в которых используются кобальт-60 и иридий-192 с активностями порядка сотен, иногда тысячи Ки (десятки–сотни ТБк). Для безопасной работы этих приборов разработаны и действуют системы многоуровневой защиты. Их потенциальная опасность связана с необходимостью «перезарядки» и транспортировки снятых с эксплуатации источников. В процессе этих действий случались аварийные ситуации.

При локальном воздействии ионизирующего излучения в дозе 8–20 Гр развиваются местные лучевые поражения (МЛП) легкой и средней степени, при которых, как правило, исход процесса относительно благоприятен (полная эпителизация, иногда слабо выраженная атрофия, сухость кожи, единичные рубцы и телеангиоэктазии). При воздействии в диапазоне доз более 20 Гр развиваются МЛП тяжелой и крайне тяжелой степени, заживление язв затягивается на месяцы, если и происходит, то, в основном, путем образования



рубцов, либо заживление не происходит и со временем язвы инфицируются, ткани некротизируются и формируются первично незаживающие глубокие некротические язвы, длительное существование которых может приводить к генерализации инфекции (сепсис, септический эндокардит) и развитию амилоидоза почек [1–4].

Целью работы является оценка психофизиологической адаптации больных с МЛП в зависимости от установленной связи с несчастным случаем на производстве, пострадавших в разных радиационных авариях и инцидентах.

**Материал и методы**

В исследовании представлены больные с МЛП от закрытых источников, пострадавших, в основном, с 1982 по 2016 гг. Проведено клинико-психофизиологическое обследование в динамике (от 2 до 3–5 раз) 57 больных. Основной состав обследованных лиц – мужчины, а также 15 женщин (16,9 %) – из них 14 женщин с МЛП, полученными при лучевой терапии.

Первую группу составили 20 человек (средний возраст – 41,6 ± 3,1 лет), не имеющих установленную связь с производством (группа 1). Три из них получили МЛП крайне тяжелой степени: 1 пациент – при поломке аппарата во время проведения курса лучевой терапии (доза > 10 Гр), 1 – при проведении коронарографии и 1 – от вмонтированного в кресло γ-источника (МЛП II–III ст. тяжести), 14 – при лучевой терапии и при лечении лучами Букки в косметических целях, 3 – при контакте с потерянными источниками.

Вторую группу из 37 больных с МЛП (средний возраст 52,0 ± 1,6), с установленной связью с производством (группа 2) составили: 16 дефектоскопистов – работников топливно-энергетического комплекса, осуществляющих контроль качества трубопроводов и металлоконструкций с помощью дефектоскопа, источником излучения у которого, чаще всего, являлся радионуклид Ir-192 с периодом полураспада 74 сут, 6 человек – персонал, выполнявший ремонтные работы на АЭС; 10 человек – на предприятиях атомной

промышленности; 5 человек составили учёные, получившие МЛП при проведении экспериментальных работ в процессе исследовательской деятельности. МЛП в основном пальцев кистей рук, реже голеней, стоп и лица, были у 29 больных I–II степени тяжести и у 28 лиц – II (9), III (11) и IV (8) степени тяжести соответственно. Больные с МЛП наряду с первичными ампутациями подвергались многочисленным повторным операциям по поводу поздних лучевых язв. В период отдаленных последствий у них наблюдались рубцово-атрофические изменения, телеангиоэктазии, нарушения пигментации, рецидивирующие поздние лучевые язвы и фантомные боли.

Психофизиологическое обследование проведено с использованием автоматизированного программно-методического комплекса «Эксперт», предназначенного для исследования личностных свойств человека, когнитивных и интеллектуальных особенностей личности с использованием методики многостороннего исследования личности (ММИЛ) (методика ММРП, адаптированная Ф.Б. Березиным, М.П. Мирошниковым, Е.Д. Соколовой в 2011 г.), методики 16-ФЛО Кеттелла, теста Равенна, оценки простой и сложной сенсомоторных реакций (ПСМР, ССМР) и реакции на движущийся объект (РДО).

Статистическая обработка показателей двух групп проводилась с использованием непараметрических критериев знаковых рангов Вилкоксона для связанных выборок и критерия U Манна–Уитни для независимых выборок.

**Результаты**

Тест ММИЛ проведен 57 больным с МЛП, возникших вследствие разных радиационных аварий и инцидентов (рис. 1). Сравнительная оценка показателей ММИЛ больных с МЛП, имеющих установленную связь с несчастным случаем на производстве и без такой связи, показала (табл. 1, рис. 2), что: – выраженное осознанное стремление выглядеть в благоприятном свете (шкала L) было более выражено у больных 2-й группы;

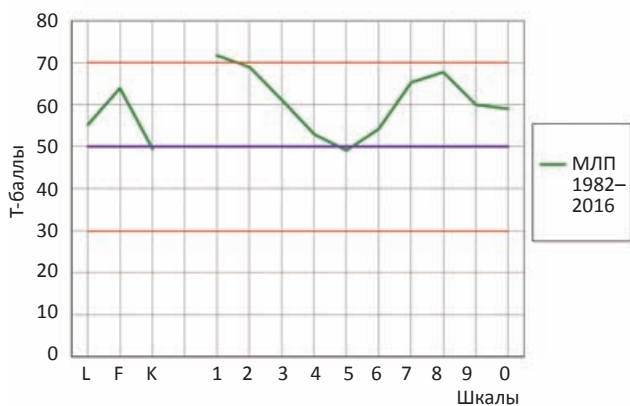


Рис. 1. Усредненный профиль теста ММИЛ у больных с МЛП, возникших при разных радиационных авариях

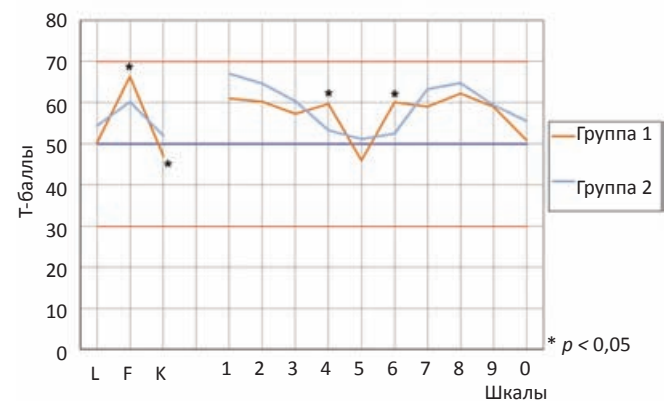


Рис. 2. Показатели многостороннего исследования личности ММИЛ у больных с МЛП без (1) и со связью (2) с несчастным случаем на производстве



Таблица 1

## Показатели многостороннего исследования личности ММИЛ у больных с местными лучевыми поражениями, без и со связью с несчастным случаем на производстве

№ группы	Возраст	L	F	K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1 n = 29	41,6**± 3,1	50,21 ± 2,17	66,35* ± 2,85	46,99* ± 1,92	60,97 ± 3,32	60,29 ± 2,46	57,33 ± 2,15	59,70* ± 2,08	45,98 ± 1,78	60,08* ± 2,79	58,97 ± 2,43	62,23 ± 3,09	59,02 ± 1,90	50,90 ± 1,81
2 n = 52	52,0 ± 1,6	54,34 ± 1,30	60,21 ± 3,26	51,95 ± 1,66	66,99 ± 2,77	64,69 ± 2,77	60,33 ± 1,88	53,30 ± 1,20	51,19 ± 2,28	52,15 ± 2,43	63,24 ± 1,90	64,78 ± 3,02	59,37 ± 1,48	55,49 ± 2,07

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ 

- выраженная склонность привлекать внимание к имеющимся симптомам, проблемам, повышенный уровень внутренней напряженности (шкала F) были достоверно ( $p < 0,05$ ) выше у больных 1-й группы;
- тенденция к отрицанию затруднений, конфликтов, каких-либо форм социального неблагополучия (шкала K) была достоверно выше ( $p < 0,05$ ) у больных 2-й группы;
- выраженная обеспокоенность состоянием физического здоровья (шкала 1-Hs) определялась у больных 2-й группы, вызывая напряжение психической адаптации;
- снижение настроения, активности, работоспособности, тревога и напряженность (шкала 2-D) были выше у 2-й группы больных, обуславливая напряжение психической адаптации;
- демонстративность, стремление обратить на себя внимание, производить внешнее впечатление (шкала 3-Hu) была свойственна всей группе обследованных лиц, но несколько чаще выявлялась у больных 2-й группы, обуславливая, преимущественно, напряжение психической адаптации;
- тенденция к стремлению пренебрегать социальными нормами и правилами поведения, неспособность учитывать негативный опыт при планировании поведения, импульсивность, несдержанность (шкала 4-Pd) имела место у больных 1-й группы, вызывая напряжение психической адаптации ( $p < 0,05$ );
- высокая самооценка, настойчивость, целеустремленность и, одновременно, раздражительность, обидчивость, склонность к аффективной ригидности (шкала 6-Pa) были достоверно ( $p < 0,05$ ) выше у больных 1-й группы;
- мнительность, неуверенность в себе, постоянные сомнения, трудности в выборе вариантов принимаемых решений (шкала 7-Pt) были общими для всей группы, но выявлялись несколько чаще у больных 2-й группы;
- своеобразие мышления, суждений, необычность подходов к решению различных задач, трудности во взаимопонимании с окружающими, повышенная чувствительность в сочетании с эмоциональной холодностью и отчужденностью (шкала 8-Sc) несколько чаще выявлялись у больных 2-й группы и определяли напряженность психической адаптации;
- уровень активности, оптимизма, фон настроения, переключаемости, отвлекаемости и беспечности

(шкала 9-Ma) выявлялись одинаково часто у больных обеих групп;

- стремление контролировать и ограничивать контакты с окружающими, круг общения, трудности при необходимости широких межличностных контактов, чувство отгороженности с одновременной потребностью во внимании (шкала 0-Si) отмечались несколько чаще у больных 2-й группы;

Таким образом, сравнительная оценка данных ММИЛ показала, что группа больных с МЛП (1-я группа), не имеющих установленную связь с несчастным случаем на производстве, отличалась от группы лиц с установленной связью МЛП с производством (2-я группа Н1), по следующим показателям ( $p < 0,05$ ):

- выраженной склонностью привлекать внимание к имеющимся симптомам, проблемам, повышенным уровнем внутренней напряженности (шкала F);
- стремлением пренебрегать социальными нормами и правилами поведения, неспособностью учитывать негативный опыт при планировании поведения, импульсивностью, несдержанностью (шкала 4-Pd);
- мужским типом поведения (шкала 5-Ma);
- высокой самооценкой, настойчивостью, целеустремленностью и, одновременно, раздражительностью, обидчивостью, склонностью к аффективной ригидности (шкала 6-Pa);
- уровнем активности, оптимизма, фоном настроения, переключаемости, беспечности и поверхностности (шкала 9);
- неудовлетворенностью и склонностью преувеличивать существенность конфликтов (шкала K).

Личностный профиль больных с МЛП (2-я группа), имеющих установленную связь с несчастным случаем на производстве, был обусловлен значительно более выраженной обеспокоенностью состоянием физического здоровья (шкала 1-Hs), снижением настроения, активности, работоспособности, выраженной тревогой и напряженностью (шкала 2-D), демонстративностью, стремлением обратить на себя внимание, производить внешнее впечатление (шкала 3-Hu), мнительностью, неуверенностью в себе, постоянными сомнениями, трудностями в выборе вариантов принимаемых решений (шкала 7-Pt), оригинальностью мышления (шкала 8-Sc), стремлением контролировать и ограничивать контакты с окружающими, круг общения, трудностями при необходимости широких межличностных контактов, чувством отгороженности с

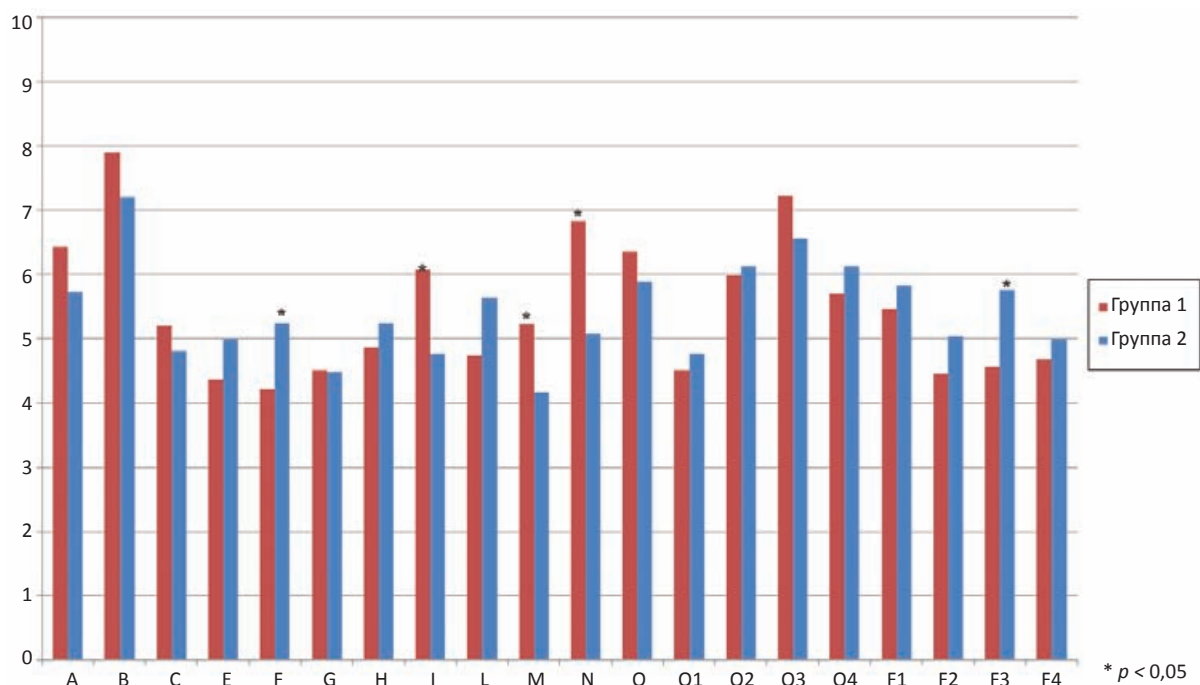


Рис. 3. Показатели методики 16-ЛФО Кеттелла у больных с МЛП без или со связью с несчастным случаем на производстве

Таблица 2

Показатели методики 16-ЛФО Кеттелла у больных с МЛП без или со связью с несчастным случаем на производстве

№ группы	Возраст	A	B	C	E	F	G	H	I	L	M	N	O
2 n = 25	40,2** ± 3,1	5,72 ± 0,37	7,20 ± 0,42	4,80 ± 0,41	5,00 ± 0,35	5,24* ± 0,30	4,48 ± 0,33	5,24 ± 0,35	4,76* ± 0,40	5,64 ± 0,36	4,16* ± 0,31	5,08* ± 0,39	5,88 ± 0,40
1 n = 45	52,5 ± 1,7	6,42 ± 0,34	7,89 ± 0,28	5,20 ± 0,27	4,36 ± 0,26	4,22 ± 0,35	4,51 ± 0,29	4,87 ± 0,36	6,07 ± 0,25	4,73 ± 0,29	5,22 ± 0,29	6,82 ± 0,24	6,36 ± 0,19

№ группы	Q1	Q2	Q3	Q4	F1	F2	F3	F4
2 n = 25	4,76 ± 0,38	6,12 ± 0,47	6,56 ± 0,37	6,12 ± 0,29	5,82 ± 0,34	5,04 ± 0,30	5,75* ± 0,37	4,99 ± 0,38
1 n = 45	4,51 ± 0,31	5,98 ± 0,28	7,22 ± 0,24	5,69 ± 0,27	5,47 ± 0,26	4,45 ± 0,42	4,57 ± 0,24	4,68 ± 0,29

Примечание: \*  $p < 0,05$  \*\*  $p \leq 0,01$

одновременной потребностью во внимании, (шкала 0-Si), тенденцией к отрицанию затруднений, конфликтов, каких-либо форм социального неблагополучия (шкала K). Последняя была достоверно выше ( $p < 0,05$ ) у больных с МЛП этой группы.

Сравнительная оценка характерологических особенностей личности больных с МЛП, имеющих связь с несчастным случаем на производстве и с неустановленной связью с производством (методика 16-ЛФО Кеттелла) показала (табл. 2, рис. 3), что для обеих групп характерны:

- низкий эмоциональный контроль, низкая эмоциональная устойчивость, склонность к невротическим и психосоматическим жалобам, подверженность чувствам, неспособность справиться с жизненными трудностями, эмоциональная нестабильность (фактор С – 1–4 стена), которые выявлялись почти одинаково часто у больных в 1 и 2 группе;

- низкая оценка по фактору G (4 стена и 1–3 стена) – склонность пользоваться моментом, поиск выгоды в ситуации, избегание правил, малообязательность;
- самостоятельность, независимость от группы (фактор Q2), свойственная большинству обследованных лиц, чаще выявлялась и имела при этом более высокие оценки (7 и 8–10 стенов) у больных в обеих группах наблюдения;
- высокие оценки (8–10 стенов) по фактору Q3, характеризующему организованность, самоконтроль поведения, способность строить поведение с учетом требований окружения имели большинство больных в обеих группах наблюдения;
- низкая оценка (4 и 1–3 стена) по вторичному фактору F4, характеризующая подчиненность, зависимость от группы, пассивную личность, нуждающихся в поддержке других лиц, была свойственна всей группе больных, пострадавших в радиационных авариях, выявлялась одинаково часто у больных с МЛП в первой и второй группе наблюдения.

Таблица 3

**Показатели теста Равенна у больных с МЛП без или со связью с несчастным случаем на производстве**

№ группы	Возраст	1	2	3	4	5	6	Верно %
		Всего верно	A	B	C	D	E	
Стены								
1 (n = 27)	38,48** ± 3,07	37,30 ± 2,03	10,37 ± 0,37	8,74 ± 0,54	7,59 ± 0,45	6,89 ± 0,60	3,70 ± 0,58	62,16 ± 3,38
2 (n = 35)	52,17 ± 1,87	36,46 ± 1,56	9,57 ± 0,36	8,46 ± 0,47	7,37 ± 0,39	7,69 ± 0,44	3,34 ± 0,39	60,76 ± 2,60

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$

Таблица 4

**Показатели скорости простой сенсомоторной реакции у больных с МЛП без или со связью с несчастным случаем на производстве**

№ группы	Возраст	Ср. время реакции, мс	$\sigma$	Мин. ср. время, мс	Вариационный размах, мс	Амплитуда моды, %	Мода, мс
1 (n = 21)	41,7* ± 3,5	419,40 ± 118,41	70,04 ± 6,73	180,29** ± 9,15	405,05 ± 30,15	23,81 ± 1,57	267,43 ± 8,30
2 (n = 31)	50,3 ± 2,2	316,20 ± 9,23	68,68 ± 4,38	211,97 ± 6,82	385,03 ± 20,05	23,07 ± 1,50	278,74 ± 8,98

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$

Таблица 5

**Показатели скорости сложной сенсомоторной реакции (ССМР) у больных с МЛП без или со связью с несчастным случаем на производстве**

№ группы	Ср. время реакции, мс	$\sigma$	Верно	Пропуск	Ошибка
1 (n = 16)	617,03* ± 93,80	114,15 ± 17,08	12,44 ± 1,40	3,56 ± 1,40	6,69 ± 1,79
2 (n = 29)	816,60 ± 75,85	122,66 ± 20,98	10,24 ± 1,10	5,66 ± 1,08	7,66 ± 1,28

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$

Таблица 6

**Показатели скорости реакции на движущийся объект (РДО) у больных с МЛП без или со связью с несчастным случаем на производстве**

№ группы	Ср. время реакции, мс	$\sigma$	Вариационный размах, мс	Амплитуда моды, %	Мода, мс	Точно, %	До, %	После, %
1 (n = 21)	1023,05 ± 15,15	151,37* ± 43,69	1013,05* ± 302,00	23,48** ± 1,64	1015,48 ± 7,91	6,90 ± 1,42	39,14 ± 2,44	53,95 ± 2,36
2 (n = 32)	1001,59 ± 4,66	70,38 ± 10,30	432,09 ± 68,01	30,41 ± 1,55	1013,84 ± 5,56	9,16 ± 1,47	10,20 ± 1,80	51,19 ± 2,13

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$

Таким образом, сравнительная оценка психологических особенностей личности по данным теста Кеттелла показала (рис. 3), что группа больных (2 группа), имеющая установленную связь с несчастным случаем на производстве, статистически достоверно ( $p < 0,05$ ) отличалась:

- повышенной активностью, свободой поведения, раскованностью, беззаботностью, импульсивностью (фактор F);
- степенью реактивности, неуравновешенности, эмоциональности, фрустрированности (фактор F3);
- Больные 1-й группы без установленной связи МЛП с несчастным случаем на производстве, статистически достоверно ( $p < 0,05$ ) отличались как личности:
  - сильные, непрактичные, независимые, полагающиеся на себя (фактор I);
  - с развитой воспитанной формой поведения, сдержанностью, корректностью, «светскостью» (фактор N);
  - с отсутствием реалистичности и приземленности интересов и побуждений (фактор M);
  - с более высоким уровнем интеллекта (фактор B);
  - с более высокой эмоциональностью (фактор A);
  - с большим недовольством ситуацией и своим положением в ней (фактор O);

Сравнительная оценка показателей теста Равенна у больных с МЛП, имеющих связь с несчастным случаем

на производстве и с неуставленной связью с производством показала (табл. 3), что ответ был верным у 62,2 % больных с МЛП 1-й группы и у 60,76 % больных с МЛП 2-й группы. Этот контингент обследованных лиц обладает способностью к абстрактно-логическому мышлению и решению логических задач в условиях дефицита времени.

Сравнительная оценка показателей времени простой сенсомоторной реакции (ПСМР) больных обеих групп показала (табл. 4), что среднее время ПСМР было короче у больных 2-й группы, а минимальное среднее время реакции было более продолжительным по сравнению с больными с 1-й группы.

Сравнительная оценка показателей времени сложной сенсомоторной реакции (ССМР) у больных обеих групп показала (табл. 5), что больные 2-й группы выполнили данный тест достоверно ( $p < 0,05$ ) с более продолжительным временем реакции, допустив при этом большее количество пропусков и ошибок, приняв меньшее количество верных решений.

Сравнительная оценка показателей времени реакции на движущийся объект (РДО) больных обеих групп показала (табл. 6), что реакция на движущийся объект у больных 2-й группы занимала достоверно ( $p < 0,05$ ) меньше времени, чем у больных 1-й группы, но при этом точность реакции у них была хуже.

Таким образом, больные 2-й группы с установленной связью с производством затратили достоверно ( $p < 0,05$ ) меньше времени на простую сенсомоторную реакцию на свет и реакцию на движущийся объект по сравнению с больными 1-й группы, при этом они допустили большее количество пропусков, неточностей и ошибок и меньшее количество верных реакций, в основном, при выполнении сложной сенсомоторной реакции.

### Обсуждение

Тревожно-ипохондрический тип нарушения психофизиологической адаптации у больных с МЛП обусловлен преимущественно обеспокоенностью состоянием физического здоровья, определившим напряжение психической адаптации с тенденцией к пренебрежению социальными нормами и правилами поведения, с склонностью к диссоциальному поведению, психастении, аутизации, дистанцированию, отчуждению, к аффективной ригидности, к стремлению возложить на окружающих вину за нарушение межличностных отношений, жизненных трудностей и эмоциональных конфликтов (рис. 1).

Ипохондрический тип нарушения психической адаптации больных с МЛП 2-й группы был обусловлен значительно более выраженной обеспокоенностью состоянием физического здоровья (шкала 1-Hs), снижением настроения, активности, работоспособности, с выраженной тревогой и напряженностью (шкала 2-D), демонстративностью, стремлением обратить на себя внимание, производить внешнее впечатление (шкала 3-Hu), мнительностью, неуверенностью в себе, постоянными сомнениями, трудностями в выборе вариантов принимаемых решений (шкала 7-Pt), оригинальностью мышления (шкала 8-Sc), стремлением контролировать и ограничивать контакты с окружающими, круг общения, трудностями при необходимости широких межличностных контактов, чувством отгороженности с одновременной потребностью во внимании (шкала 0-Si), тенденцией к отрицанию затруднений, конфликтов, каких-либо форм социального неблагополучия (шкала K,  $p < 0,05$ ).

Характерологические особенности 2-й группы определялись повышенной активностью, свободой поведения, раскованностью, беззаботностью, импульсивностью (фактор F,  $p < 0,01$ ), доминантностью, властностью, склонностью к лидерству (фактор E), более высокой спонтанной активностью, тягой к риску и острым ощущениям, невосприимчивостью к угрозе (фактор H), склонностью к повышенной самооценке, недоверчивости, холодности, к соперничеству и аффективной ригидности (фактор L), к напряженности, тревоге по поводу неудовлетворенных потребностей, обуславливающей эмоциональную неустойчивость, пониженное настроение, раздражительность, нетерпимость (фактор Q4), склонностью к повышенной степени тревожности, достоверно высокой реактивности.

Тенденция к диссоциальному типу нарушения психической адаптации, характерная преимущественно

для больных 1-й группы, обусловлена выраженной склонностью привлекать внимание к имеющимся симптомам, проблемам, с повышенным уровнем внутренней напряженности (шкала F), стремлением пренебрегать социальными нормами и правилами поведения, неспособностью учитывать негативный опыт при планировании поведения, импульсивностью, несдержанностью (шкала 4-Pd), мужским типом поведения (шкала Ma), высокой самооценкой, настойчивостью, целеустремленностью и, одновременно, раздражительностью, обидчивостью, склонностью к аффективной ригидности (шкала 6-Pa), к снижению уровня активности, оптимизма, фона настроения, переключаемости, беспечности и поверхностности (шкала 9), с неудовлетворенностью и склонностью преувеличивать существенность конфликтов (шкала K).

По характерологическим особенностям личности больные 1-й группы статистически достоверно ( $p < 0,03$ ) отличались как сильные, практичные, независимые, полагающиеся на себя личности (фактор I), лица с развитой воспитанной формой поведения, сдержанностью, корректностью, «светскостью» (фактор N,  $p < 0,01$ ), лица с практичностью, реалистичностью и приземленностью интересов и побуждений (фактор M,  $p < 0,03$ ), как лица с более высоким уровнем интеллекта (фактор V), более высокой интегрированностью поведения, организованностью, самоконтролем поведения, способностью строить поведение с учетом требований окружения (фактор Q3), самостоятельностью, независимостью от группы (фактор Q2).

Несчастные случаи как в быту, так и на производстве вызывают у всех пострадавших напряжение психофизиологической адаптации разной степени тяжести.

Известно, что связь МЛП с несчастным случаем на производстве устанавливается в виде акта о несчастном случае на производстве по форме Н-1 в соответствии со ст. 229 Трудового кодекса (ТК) РФ. Действующее законодательство обеспечивает надлежащее расследование несчастных случаев, в т.ч. и несчастных случаев МЛП, полученными в результате радиационной аварии или радиационного инцидента. Комиссия, осуществляющая расследование несчастного случая, проводит внутриведомственное расследование и определяет, какие государственные требования охраны труда были нарушены. В итоговом документе, который составляет комиссия, т.е. в Акте о несчастном случае на производстве по форме Н-1 указываются причины несчастного случая и лица, допустившие нарушения требований охраны труда.

Комиссия не правомочна устанавливать вину лиц, допустивших нарушения требований охраны труда. Мера их вины может установить только суд. В соответствии со ст. 228.1 и 230.1 ТК РФ в случае несчастного случая работодатель информирует прокуратуру по месту происшествия несчастного случая, а по окончании расследования направляет экземпляр акта о расследовании несчастного случая с копиями материалов расследования в указанную прокуратуру.



Во время расследования несчастного случая на производстве пострадавший, как правило, находится на лечении в клинике, при выписке из которой центр профессиональной патологии выносит медицинское заключение о пригодности или непригодности к виду работ, к которым выявлены медицинские противопоказания в соответствии с приложением II пункта 2.5 к приказу Минздравсоцразвития России № 417н от 27.04.2012 г. – заболевания, связанные с воздействием производственного ионизирующего излучения. Работник может быть признан постоянно непригодным к выполнению работ с превышением годового норматива эффективной дозы ионизирующего излучения (НРБ 99/2009), получая группу инвалидности в зависимости от степени тяжести поражения и % утраты трудоспособности. Больной с МЛП без акта о несчастном случае на производстве по форме Н-1 также может получить группу инвалидности в зависимости от тяжести поражения, но он вынужден сменить профессию, чаще с потерей в заработной плате, без компенсации со стороны производства. При выявлении лечебно-профилактическим учреждением признаков стойкой утраты трудоспособности вследствие острого профессионального заболевания осуществляется направление работника (застрахованного) с открытым листком нетрудоспособности в учреждение медико-социальной экспертизы на основе решения клинико-экспертной комиссии (КЭК) по экспертизе временной нетрудоспособности, а также направление страхователю и в центр госсанэпиднадзора извещения об установлении заключительного диагноза острого профессионального заболевания (отравления), его уточнении или отмене.

Лицам молодого возраста с легкими формами профессиональных болезней инвалидность может быть дана на ограниченный срок для переквалификации или переобучения (профессиональная реабилитация).

## Выводы

1. Проведённая психофизиологическая оценка адаптации больных с МЛП позволила установить тревожно-ипохондрический тип нарушения адаптации.

2. Оценка психической адаптации в зависимости от установленной связи МЛП у больных с производством позволила определить два типа нарушения психической адаптации – ипохондрический и диссоциальный.

3. Ипохондрический тип нарушения психической адаптации обусловлен, преимущественно, обеспокоенностью состоянием здоровья, диссоциальный – стремлением пренебрегать социальными нормами и правилами поведения, аффективной ригидностью.

4. Диссоциальный тип нарушения психической адаптации выявлялся, преимущественно, у больных, МЛП которых не имели установленной связи с несчастным случаем на производстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петушков В.Н. Развитие и течение местной радиационной травмы тканей. Острая радиационная травма у человека. Под ред. Н.А. Куршакова. – М.: Медицина. 1965. 314 с.
2. Орлов В.М., Петушков В.Н., Сыч Л.И. Острое лучевое поражение рук // Мед. радиология. 1970. Т. 15. № 1. С. 53–56.
3. Барабанова А.В., Надежина Н.М. Клиническая картина местных лучевых поражений // В кн. «Радиационная медицина. Р 15. Радиационные поражения человека». – М.: Изд-во АТ, 2001. Т. 2. С. 161–185.
4. Березин Ф.Б., Мирошников М.П., Соколова Е.Д. Методика многостороннего исследования личности. Структура, основы интерпретации, некоторые области применения. 3-е изд. – М.: Изд-во «Березин Феликс Борисович», 2011. 320 с.

Для цитирования: Метляева Н.А., Бушманов А.Ю., Краснюк В.И., Давтян А.А., Щербатых О.В., Юнанова Л.А., Кореньков В.В., Юнанов Д.С. Психофизиологическая адаптация больных с местными лучевыми поражениями // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 11–18.

DOI: 10.12737/article\_5bc8960ba308e0.31051556

## Psychophysiological Adaptation of Patients with Local Radiation Injuries

**N.A. Metlyayeva, A.Yu. Bushmanov, V.I. Krasnuk, A.A. Davtyan, O.V. Shcherbatykh,  
L.A. Yunanova, V.V. Koren'kov, D.S. Yunanov**

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

N.A. Metlyayeva – Leading Researcher, Dr. Sc. Med.; A.Yu. Bushmanov – Senior Vice-President, Dr. Sc. Med., Prof.; V.I. Krasnuk – Head of Department No. 2, Dr. Sc. Med.; A.A. Davtyan – Head of Department of Acute Radiation Pathology (hematological), PhD Med.; O.V. Shcherbatykh – Junior Researcher; L.A. Yunanova – Engineer; V.V. Koren'kov – Head of Special Admission Office, PhD Med.; D.S. Yunanov – Engineer

### Abstract

**Purpose:** Assessment of psycho-physiological adaptation of patients with local radiation injuries (LRI), depending on the presence or absence of an established connection with an accident at work in connection with a radiation accident or an incident that has undergone a psychophysiological examination.

**Material and methods:** Clinical and psychophysiological examination of 57 patients with local radiation injuries was performed, 20 of them, whose LRI s were associated with an accident at work (Group 1) and 37 patients, whose LRI connection was not established with production (Group 2). The mean age of the examined subjects was  $41.6 \pm 3.1$  and  $52.0 \pm 1.6$  years. The psychophysiological examination was carried out using the automated program-methodical complex “Expert”, designed to study the personality of a

person, the cognitive and intellectual characteristics of a person using the method of the Multilateral Personality Study is an adaptation of MMPI, the method of Cattell's 16PF, the Raven test, simple and complex sensorimotor reactions and reaction to a moving object.

**Results:** Clinical and psychophysiological assessment of personality and the actual mental state of patients with LRI having an established connection to an accident at work in comparison with patients with LRI with an unrelated connection with production allowed to determine the main types of disturbance of psychophysiological adaptation in a kind of anxiety-hypochondriacal type of adaptation disorder with a tendency to dissocial behavior in patients with LRI who have an established connection with an accident at work.

**Conclusion:** Anxiety-hypochondriacal type of disturbance of psychophysiological adaptation in patients with LRI is caused primarily by concern about the state of physical health, which determined the tension of mental adaptation with a tendency to neglect social norms and rules of behavior, with a tendency to dissocial behavior, psychasthenia, autization, distancing, alienation, affective rigidity, the desire to put the blame on others for the violation of interpersonal relationships, life difficulties and emotions conflicts. The dissocial type of the disturbance of psychophysiological adaptation was revealed mainly in patients with LRI who have established connection with an accident at work.

**Key words:** *local radiation injuries, acute radiation syndrome, psychophysiological adaptation, radiation risk*

#### REFERENCES

1. Petushkov VN. Development and course of local radiation injury of tissues. Acute radiation syndrome in humans. Ed. Kurshakova NA. Moscow: Medicine; 1965. 314 p. Russian.
2. Orlov VM, Petushkov VN, Sych LI. Acute radiation syndrome of hands. Medical Radiology. 1970;15(1):53-6. Russian.
3. Barabanova AV, Nadezhina NM. Clinical picture of local radiation lesions. Radiation Medicine. P. 15 Radiation damage to humans Moscow. Publishing house. 2001;2:161-85. Russian.
4. Berezin FB, Miroshnikov MP, Sokolova ED. Method of multilateral study of personality. Structure, basis of interpretation, some areas of application. 3 edition, amended and updated. Moscow: Publishing House «BEREZIN FELIX BORISOVICH»; 2011. 320 p. Russian.

**For citation:** Metlyaeva NA, Bushmanov AYu, Krasnuk VI, Davtyan AA, Shcherbatykh OV, Yunanova LA, Koren'kov VV, Yunanov DS. Psychophysiological Adaptation of Patients with Local Radiation Injuries. Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63(5):11-8. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc8960ba308e0.31051556

**Е.В. Тимошкина, С.И. Ткачев, А.В. Назаренко, О.П. Трофимова,  
В.В. Глебовская, С.М. Иванов, Т.Н. Борисова**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕГО РЕКОНСТРУКТИВНО-ПЛАСТИЧЕСКУЮ ОПЕРАЦИЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ХИМИОТЕРАПИЮ И КОНФОРМНУЮ ЛУЧЕВУЮ ТЕРАПИЮ**

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина Минздрава РФ, Москва.  
E-mail: doctoretim@gmail.com

Е.В. Тимошкина – врач-радиолог; С.И. Ткачев – в.н.с., д.м.н., профессор, вице-президент Российской ассоциации терапевтических радиационных онкологов РФ (РАТРО), главный внештатный радиолог ЦФО; А.В. Назаренко – зав. отделением, к.м.н., О.П. Трофимова – в.н.с., д.м.н., профессор, член РАТРО, RUSSCO, Ассоциации онкологов России, ARCA, Ассоциации специалистов по проблемам меланомы, член правления Российского общества онкомамологов (РООМ); В.В. Глебовская – с.н.с., к.м.н., С.М. Иванов – с.н.с., к.м.н., Т.Н. Борисова – с.н.с., к.м.н.

### **Реферат**

**Цель:** Оценить результаты лечения и частоту ранних и поздних лучевых повреждений у больных раком молочной железы, которым была проведена одномоментная реконструктивно-пластическая операция с применением синтетических материалов (экспандер-эндопротез или постоянный имплантат) и адьювантная лучевая терапия.

**Материал и методы:** В исследование были включены 32 больных раком молочной железы I–III стадий, получивших комплексное лечение, включавшее одномоментную реконструктивно-пластическую операцию, лучевую терапию и химиотерапию.

**Результаты:** У всех пациенток было отмечено раннее лучевое повреждение кожи в виде эритемы, у 6 (18 %) – реакция со стороны слизистой оболочки глотки. Период наблюдения за пациентами составил от 12 до 112 мес, медиана 35 мес. У 2 (6 %) пациенток был выявлен локальный рецидив в сроки 31 мес и 46 мес от дня операции, показатель локорегионарного контроля составил 94 %. У 9 (28 %) пациенток наступило системное прогрессирование в срок от 8 до 71 мес от даты операции, были выявлены метастазы в кости, головной мозг, легкие, печень, регионарные лимфатические узлы. Две (6 %) пациентки умерли от прогрессирования основного заболевания.

Поздние лучевые повреждения кожи и мягких тканей облучаемой области были отмечены у 4 (13 %) пациенток – у них была выявлена капсулярная контрактура 1-й ( $n = 1$ ), 2-й ( $n = 2$ ) и 3-й ( $n = 1$ ) степени. В двух случаях из этих четырех капсулярная контрактура клинически не выявлялась. Больным была проведена капсулотомия с хорошим клиническим и итоговым косметическим результатом.

**Выводы:** Одномоментные реконструктивно-пластические операции с использованием синтетических материалов в настоящее время являются важной частью комплексного лечения больных ранними и местнораспространенными формами рака молочной железы и не являются препятствием к проведению в полном объеме как химиотерапевтического, так и лучевого лечения. Применение современных методик 3D и 4D лучевой терапии, а также сопроводительной терапии, позволяют добиться низкой частоты поздних лучевых повреждений при сохранении высокой общей и безрецидивной выживаемости.

**Ключевые слова:** рак молочной железы, реконструктивно-пластические операции, реконструкция молочной железы, тканевой экспандер, лучевая терапия, лучевые повреждения

Поступила: 08.05.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

### **Введение**

Рак молочной железы является наиболее распространенным онкологическим заболеванием среди женского населения Российской Федерации, составляя 21,0 % всех случаев злокачественных новообразований. Абсолютное число впервые выявленных больных с установленным диагнозом рака молочной железы в 2016 г. составляет 68547 случаев, а рост числа заболевших в период с 2006 по 2016 гг. составил 33,08 % [1]. Несмотря на возрастание частоты выявления заболевания на ранних стадиях, до сих пор достаточно широко распространены клинические ситуации, когда проведение органосохраняющего хирургического лечения невозможно или нецелесообразно – в силу распространенности процесса или же в связи с клинико-морфологическими характеристиками опухоли.

Вместе с тем, растет как во всем мире, так и в Российской Федерации частота выполнения одномоментных с проведением радикальной мастэктомии реконструктивно-пластических операций. При сохранении онкологической эффективности и без-

опасности они дают хороший эстетический эффект и оказывают значительное субъективное положительное психологическое воздействие, помогая избежать депрессивно-тревожных состояний у пациенток и быстрее принять новый контур собственного тела [2, 3]. Реконструктивно-пластические операции на данный момент являются важной интегральной частью комплексного лечения больных раком молочной железы и не являются препятствием к своевременному и адекватному проведению химиотерапии и лучевой терапии.

В статье приведены результаты собственных клинических наблюдений, включающие онкологические результаты и частоту негативных побочных эффектов среди 32 больных раком молочной железы I–III стадий, которым была проведена радикальная мастэктомия с одномоментной реконструкцией молочной железы синтетическими материалами (экспандер-эндопротез или постоянный имплантат) при комплексном лечении в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ.

### Материал и методы

В исследование были включены 32 больные раком молочной железы I–IIIС стадий, получивших комплексное лечение, включавшее реконструктивно-пластическую операцию, лучевую терапию и химиотерапию. Первая стадия была выявлена у 1 пациентки (3 %), IА – у 2 (6 %), IВ – у 7 (22 %), IIA – у 6 (19 %), IIВ – у 8 (25 %), IIС – у 8 (25 %) (рис. 1). Таким образом, у 22 (69 %) пациенток заболевание было диагностировано как местнораспространенный опухолевый процесс.

Распределение по возрастным группам следующее: группа в возрасте до 40 лет состояла из 23 (72 %) человек, группа в возрасте от 41 до 50 представлена 6 (19 %) пациентками, группа в возрасте от 51 до 60 лет наиболее малочислена – 3 (9 %) человека.

Преобладала левосторонняя локализация процесса – 19 (59 %) случаев против 13 (41 %). Только у 3 (9 %) пациенток отсутствовало метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов. Размеры первичной опухоли варьировались от 1,1 до 6 см, медиана 2 см.

У 9 (28 %) пациенток наблюдался мультицентрический рост опухоли. В 18 случаях опухолевый узел располагался в наружных квадрантах (56 %), в 3 (9 %) – во внутренних и в 9 (28 %) – в центральных отделах молочной железы. У 1 пациентки данная информация не была представлена в медицинской документации после проведенной по месту жительства радикальной резекции. Кроме того, у одной больной мультицентрической формой рака опухолевые узлы располагались как в наружных квадрантах, так и в центральных отделах молочной железы.

Наиболее часто встречающимся гистологическим типом опухоли был рак неспецифического типа ( $n = 18$ ; 56 %), молекулярным подтипом – люминальный А (18; 56 %). Некоторая часть больных – 7 (22 %) – имела признаки лимфоваскулярной инвазии. У 10 (31 %) была выявлена мутация в генах BRCA1 или BRCA2.

По данным маммографии, выполненной до начала лечения, у 10 (31 %) пациенток были выявлены злокачественные микрокальцинаты.

У 12 (38 %) пациенток в качестве первого этапа лечения выступал хирургический, причем 2 из них (6 %) была выполнена радикальная резекция, при этом у одной следующим этапом была радикальная мастэктомия с одномоментной реконструкцией, а во втором случае была начата химиотерапия.

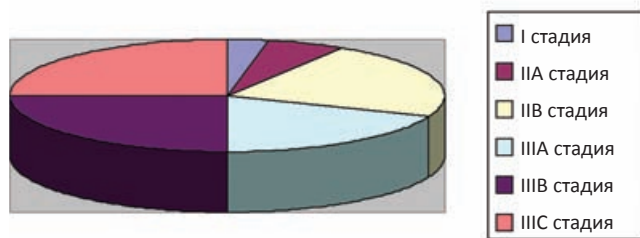


Рис. 1. Распределение пациенток по стадиям заболевания

Кожесохранная радикальная мастэктомия была проведена 14 (44 %) пациенткам, 18 (56 %) – простая мастэктомия с сохранением обеих грудных мышц. Количество удаленных во время лимфодиссекции узлов составило от 4 до 29, медиана 10. Метастатически пораженные лимфоузлы были обнаружены у 16 (50 %) пациенток. Количество их варьировало от 1 до 12, медиана 1.

Значительной части пациенток – 20 (61 %) – проводилась неоадьювантная химиотерапия. В 6 случаях из 20 при гистологическом исследовании послеоперационного материала был выявлен лечебный патоморфоз IV степени, у 10 – лечебный патоморфоз II–III степени, по 4 нет данных.

Количество курсов как неоадьювантной, так и адьювантной полихимиотерапии (ПХТ) составило от 4 до 16, медиана 6. Наиболее часто применялись схемы, включающие антрациклины (CAF, AC) и таксаны: в неоадьювантном режиме ПХТ на основе антрациклинов получали 9 (28 %) пациенток, на основе таксанов – 19 (59 %); в адьювантном – 10 (31 %) и 6 (19 %) соответственно. У 7 (22 %) пациенток проводилось введение герцептина.

Лучевая терапия была начата в срок от 1,4 до 6,9 мес со дня проведения операции (медиана 2,2 мес), и продолжалась от 24 до 43 календарных дней, медиана 32 дня. Двум пациенткам лучевая терапия была проведена в срок 18,8 и 52,9 мес со дня проведения радикальной мастэктомии. Такой длительный срок объясняется в одном случае проведением радикальной резекции в качестве первого этапа лечения по месту жительства и дальнейшим возникновением локального рецидива, который и потребовал выполнения радикальной мастэктомии с одномоментной реконструкцией. Во втором случае – выполнением вначале радикальной мастэктомии с последующим проведением 6 курсов химиотерапии в адьювантном режиме и только после этого – реконструктивно-пластической операцией на молочной железе. Всем пациенткам лучевая терапия проводилась по методике 3D CRT, 15 (45 %) – на входе под контролем дыхательных движений (respiratory gating). Лечение под контролем дыхательных движений проводилось пациенткам с левосторонней локализацией. У 31 пациентки (97 %) в облучаемую область входила передняя грудная стенка с реконструированной молочной железой и зоны регионарного лимфооттока, и у 1 (3 %) пациентки в облучаемую область входила только передняя грудная стенка с реконструированной молочной железой. РОД составила 2 Гр, СОД – 46 Гр (у 16 (50 %) человек) либо 50 Гр (15 (47 %) человек), у 1 (3 %) человека лучевая терапия была завершена на СОД 48 Гр.

Медикаментозная профилактика поздних лучевых повреждений (длительный прием трентала и витамина Е) проводилась 14 (44 %) пациенткам. Витамин Е в составе препарата «Триовит» назначался с первого дня лучевого лечения в дозе 1 капсула 2 раза в день. По завершению лучевого лечения рекомендовано про-



должить прием витамина Е в дозе 800 МЕ в течение 1,5 мес вместе с пентоксифиллином в дозе 400 мг два раза в день с целью профилактики поздних лучевых повреждений. Пентоксифиллин привлек к себе внимание благодаря таким эффектам, как снижение вязкости крови, улучшение эластичности эритроцитов, повышение уровня кислорода в ткани и содействие агрегации тромбоцитов. Кроме того, пентоксифиллин ингибирует активацию нейтрофилов цитокинами. Для усиления его воздействия совместно назначают антиоксидант альфа-токоферол (витамин Е) [4].

В качестве немедикаментозной сопроводительной терапии применялось низкоэнергетическое лазерное излучение. Известно, что оно ускоряет заживление ран путем воздействия на разные фазы репарации: воспалительную фазу, в течение которой иммунные клетки мигрируют к месту повреждения; пролиферативную фазу, которая включает в себя стимуляцию фибробластов; фазу ремоделирования, которая включает в себя накопление коллагена и перестройку экстрацеллюлярного матрикса [5]. Кроме того, лазерное излучение красного диапазона (длина волны 630–650 нм) вызывает кратковременное высвобождение свободных радикалов кислорода, которые в дальнейшем постепенно элиминируются и под воздействием которых происходит активация NF-κB, благодаря чему происходит активация генов, кодирующих факторы роста фибробластов, противовоспалительных цитокинов и хемокинов, принимающих участие в восстановлении тканей.

Лазеротерапия проводилась 10 пациенткам, из них у 3 данный вид немедикаментозной сопроводительной терапии был назначен после появления ранних лучевых повреждений кожных покровов, у 7 – с первого дня лучевого лечения

Лазеротерапия проводилась на аппарате «Стандарт» непрерывным красным (с длиной волны 650 нм) когерентным излучением мощностью 20 мВт сканирующим методом. Длительность воздействия на каждую зону (аксиллярная область, молочная железа, шейно-надключичная область, шейно-лопаточная область) составляла 2 мин.

### Результаты

Период наблюдения за пациентами составил от 12 до 112 мес, медиана 35 мес.

У 2 (6 %) пациенток в стадии IIВ и IIIВ был выявлен локальный рецидив в сроки 46 мес и 31 мес от дня операции. Таким образом, показатель локорегионарно-контроля составил 94 %.

У 9 (28 %) пациенток наступила генерализация процесса в срок от 8 до 71 мес от даты операции. Наиболее частой локализацией отдаленных метастазов были кости – 4 случая. Также были выявлены метастазы в головной мозг – 3, легкие – 3, печень – 3, отдаленные лимфатические узлы – 3, из них в одном случае – в контралатеральные надключичные лимфоузлы, в одном – в загрудинные и в одном – в забрюшинные (табл. 1).

Таблица 1

### Трехлетняя выживаемость без признаков заболевания

Длительность наблюдения	Больных без признаков опухоли		Всего больных, прослеженных после ЛТ	
	Абсолютное число	%	Абсолютное число	%
≥1 год	31	97	32	100
≥2 года	20	91	22	69
≥3 года	6	50	12	38

Следует отметить, что пациентки, у которых возникло прогрессирование заболевания, обладали следующими факторами неблагоприятного прогноза: у 5 возраст на момент постановки диагноза был меньше 35 лет, у 2 была выявлена мутация в гене BRCA, у 7 заболевание было выявлено на IIIВ-С стадии, у 3 – тройной негативный фенотип. У всех 9 пациенток было более одного из указанных выше факторов неблагоприятного прогноза.

Только у 1 женщины в стадии IIВ был выявлен рак второй молочной железы через 26 мес после выполнения радикальной мастэктомии. По поводу метастатического рака ей было проведено 4 курса неоадьювантной химиотерапии и радикальная мастэктомия с одномоментной реконструкцией имплантатом.

Две (6 %) пациентки умерли от прогрессирования основного заболевания в срок 31 и 35 мес со дня начала лечения.

За время наблюдения 13 (41 %) пациенткам был выполнен второй этап реконструктивно-пластической операции – замена экспандера на имплантат ( $n = 10$ , из них в 1 случае была применена комбинированная реконструкция имплантатом и торакодорсальным лоскутом) или TRAM-лоскутом (лоскут из прямой мышцы живота;  $n = 3$ ) (рис. 2, 3).

Несмотря на описываемую в литературе высокую вероятность постлучевых осложнений лучевой терапии у данной категории больных, частота и выраженность поздних лучевых повреждений в нашем исследовании оказалась невысокой, что связано с эффективностью проведенной сопроводительной терапии (рис. 4).

У всех пациенток было отмечено раннее лучевое повреждение кожи в виде эритемы, у 6 (18 %) – реакция со стороны слизистой оболочки глотки (на СОД 20–30 Гр, медиана 26), которая проявлялась в виде першения, болевых ощущений во время еды и сухости в горле.

Поздние лучевые повреждения кожи и мягких тканей облучаемой области были отмечены у 4 (13 %) пациенток – у них была выявлена капсулярная контрактура 1-й ( $n = 1$ ), 2-й ( $n = 2$ ) и 3-й ( $n = 1$ ) степени. В двух случаях из этих четырех капсулярная контрактура клинически не выявлялась и была установлена только в ходе второго этапа реконструктивно-пластической операции (замена экспандера на имплантат). Больным была проведена капсулотомия с хорошим клиническим и итоговым косметическим результатом.



Рис. 2. Внешний вид больной раком левой молочной железы после проведенного комплексного лечения, включавшего в себя одномоментную реконструкцию экспандером, лучевую терапию до СОД 50 Гр, и второго этапа реконструктивно-пластической операции – замены экспандера на постоянный имплантат и пластики правой молочной железы, спустя 6 мес после завершения лучевого лечения. При осмотре – кожные покровы нормальной окраски, признаков фиброза нет. Планируется 3 этап реконструктивно-пластической операции – реконструкция сосково-ареолярного комплекса

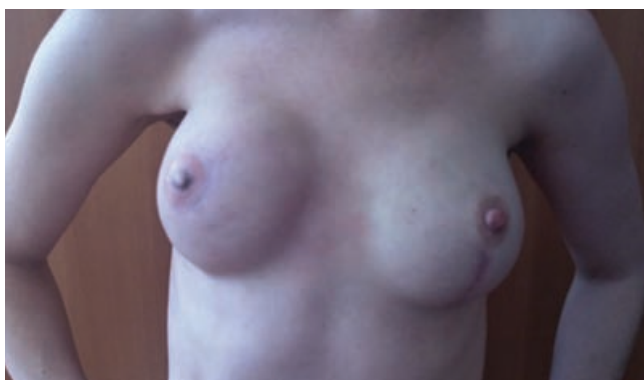


Рис. 3. Внешний вид больной раком левой молочной железы после проведенного комплексного лечения, включавшего в себя одномоментную реконструкцию экспандером, лучевую терапию до СОД 50 Гр, и второго этапа реконструктивно-пластической операции – замены экспандера на постоянный имплантат и пластики правой молочной железы, спустя 22 мес после завершения лучевого лечения. При осмотре – кожные покровы нормальной окраски, признаков фиброза нет

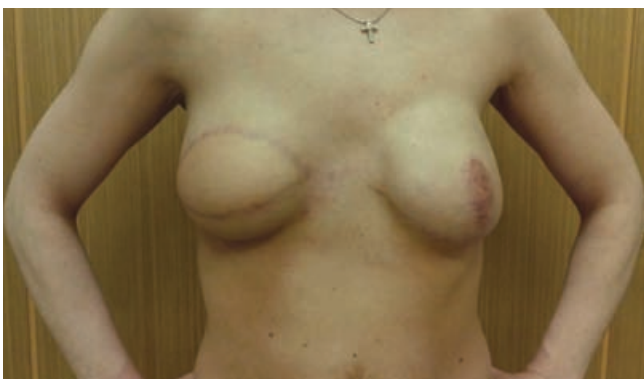


Рис. 4. Внешний вид больной раком правой молочной железы после проведенного комплексного лечения, включавшего в себя лучевую терапию до СОД 50 Гр и одномоментную реконструкцию экспандером, через 5 мес после завершения лучевого лечения. При осмотре – кожные покровы нормальной окраски, признаков фиброза нет

В одном случае капсулярная контрактура послужила причиной удаления постоянного имплантата и потребовала повторной установки экспандера с дальнейшей успешной заменой на имплантат. Из указанных выше четырех пациенток две получили весь комплекс профилактических мероприятий для предотвращения поздних лучевых повреждений, и у них развилась капсулярные контрактуры 1-й и 2-й степени, протекавшие бессимптомно.

Отдельно необходимо отметить, что у одной из трех пациенток, которым была проведена замена экспандера на TRAM-лоскут, спустя 1,5 мес развился диастаз раны и краевой некроз лоскута, что потребовало оперативного вмешательства в объеме коррекции уже пересаженного лоскута ТД-лоскутом.

### Обсуждение

В течение последних нескольких десятилетий сохраняется тенденция к росту частоты проведения реконструктивно-пластических операций с применением синтетических материалов. Так, в США за 1998–2008 г. число реконструктивно-пластических операций с применением синтетических материалов возросло на 11 % в течение каждого года, при этом число реконструктивно-пластических операций с применением собственных тканей не менялось [6]. До 2002 г. реконструкция проводилась преимущественно собственными тканями, но в 2008 г. соотношение реконструкций имплантатами и собственными тканями составило 2:1 (258 и 120, соответственно, на 1000 мастэктомий) [7].

Реконструкция синтетическими материалами связана со значительной частотой возникновения осложнений. Так как у большей части больных раком молочной железы, являющихся кандидатами на проведение реконструктивной операции, диагностируется местнораспространенная стадия заболевания, то данным пациенткам проводится комбинированное лечение, все компоненты которого – и проведение радикальной мастэктомии с одномоментной реконструктивно-пластической операцией, и лекарственное лечение, и лучевая терапия, – могут быть фактором риска возникновения осложнений. Кроме того, в литературе упоминаются и такие факторы риска, как старший возраст, размер молочной железы, наличие сахарного диабета, гипертонической болезни, заболевания кожи и соединительной ткани, ожирение, значение индекса массы тела, курение, прием тамоксифена. Но одним из главных факторов риска возникновения осложнений является лучевая терапия.

По данным мета-анализа 56 статей (5437 пациенток), обобщенный анализ всех групп с лучевой терапией показал значительно большую частоту повторных операций ( $p < 0,0001$ ), общих осложнений ( $p < 0,0001$ ) и неудачно проведенных реконструкций ( $p < 0,0001$ ) среди пациенток с реконструкцией синтетическими материалами по сравнению с пациентками с реконструкцией собственными тканями [8]. Результаты

мета-анализа, проведенного El-Sabawi et al [9], показывают следующую частоту осложнений на основе 15 исследований, касающихся проведения адъювантной лучевой терапии после одномоментной реконструкции экспандером: частота инфекционных осложнений варьировала от 4,8 до 27 %, а капсулярная контрактура III–IV степени по Бекеру – от 12,5 до 53,3 %. Частота осложнений, приведших к удалению реконструированной молочной железы, варьировала от 4,8 до 40 %.

В исследовании A. Carnevale et al [10] были прослежены 46 пациенток с местнораспространенной формой рака после радикальной мастэктомии, реконструкции молочной железы и адъювантной лучевой терапии. Суммарная доза на переднюю грудную стенку составила 50 Гр за 25 фракций. Медиана прослеженности составила 19 мес (1–39 мес), локорегионарный контроль достиг 96 %. Из 29 пациенток, включенных в группу с реконструкцией синтетическими материалами, у 5 (17 %) не было признаков капсулярной контрактуры, у 9 (65 %) – контрактура 2-го типа по Бекеру, у 3 (10 %) – 3-го типа, у двух (7 %) – 4-го типа. Значительные осложнения, потребовавшие хирургической коррекции, были отмечены у трех пациенток (7 %) из всех 46 включенных в исследование – в одном случае после реконструкции имплантом, в одном случае после реконструкции экспандером и в одном случае после реконструкции DIEP-лоскутом.

В работе Piroth et al [11] были прослежены 33 пациентки после радикальной мастэктомии с одномоментной реконструкцией экспандером и запланированной заменой его на имплантат. У 24 пациенток проводилась адъювантная химиотерапия, 30 пациенткам проводилась адъювантная лучевая терапия. Медиана СОД составила 50,4 Гр. Лучевое лечение проводилось в срок в среднем за 5,2 мес до замены экспандера на имплантат (диапазон 2,3–20,7 мес). Ранние лучевые реакции 1-й, 2-й и 3-й степени были у 21,2, 66,7 и 6,1 % пациенток соответственно. Прослеженность составила от 2,6 до 19,9 мес (медиана 24,9 мес), и у 9,1, 18,2, 15,2 и 9,1 % пациенток наблюдалась капсулярная контрактура 1-й, 2-й, 3-й и 4-й степени соответственно. Значительная деформация или асимметрия молочных желез наблюдалась у 27,3 и 33,3 % пациенток соответственно. Из 22 пациенток с постоянным имплантатом у 5 (22,7 %) пришлось его удалить из-за болевого синдрома, вызванного развитием капсулярной контрактуры. Из них же 50 % были «очень довольны» или «довольны» результатом.

В наблюдении Wagner et al. [12] у 127 пациенток после одномоментной билатеральной реконструкции молочных желез и конформной лучевой терапии с СОД 50 Гр осложнения преимущественно наблюдались со стороны облученной молочной железы. Осложнения не были отмечены у 43,9 % пациенток, осложнения 1-й степени – у 30,9 %, 2-й степени – у 9,8 %, 3-й степени – у 5,7 %, 4-й степени – 9,8 %. В контрольной группе, за которую были приняты контралатеральные реконструированные молочные железы у тех же пациенток,

частота осложнений 3–4 степени составила всего 1,6 % (2 случая).

Fischer et al [13] отметили, что из 22 пациенток (из них у 17 была выполнена билатеральная мастэктомия с одномоментной реконструкцией экспандером, у 5 – унилатеральная, всего 39 прооперированных молочных желез) при условии наполненности экспандера на 20 % к моменту облучения осложнения возникли у 2 пациенток (9 %), или у двух молочных желез (5,1 %) – один случай инфекционного осложнения и один случай протечки экспандера.

Наконец, Berry et al [14] показали на 1037 пациентках с радикальной мастэктомией и одномоментной реконструкцией, что лучевая терапия является одним из основных факторов риска возникновения осложнений при реконструкции синтетическими материалами – у 58,8 % пациенток были осложнения при 27,6 % осложнений в контрольной группе, в которой лучевое лечение не проводилось.

В нашем исследовании частота развития осложнений со стороны реконструированной молочной железы достаточно низкая – не было выявлено ни одного случая капсулярной контрактуры 4-й степени, всего же данное осложнение 1–3-й степеней было выявлено только у 13 % пациенток. Не было ни одного случая инфекционного осложнения, связанного с проведением лучевого лечения, а также осложнений, повлекших за собой удаление импланта.

## Заключение

Современные научно обоснованные аспекты лечения больных раком молочной железы, включающие новейшие методики хирургического лечения, современные лекарственные препараты и передовые технологии проведения лучевого лечения, способствуют значительной общей и безрецидивной выживаемости. Одномоментные реконструктивно-пластические операции с использованием синтетических материалов в настоящее время являются важной частью комплексного лечения и не являются препятствием к проведению в полном объеме как химиотерапевтического, так и лучевого лечения у больных раком молочной железы.

Значительная продолжительность общей и безрецидивной выживаемости этих больных обуславливает высокое качество их жизни, что достигается в том числе и грамотной профилактикой поздних осложнений проведенного комплексного лечения. Как в отечественной, так и в зарубежной литературе приводится огромное количество данных, показывающих, что больные раком молочной железы после одномоментной реконструктивно-пластической операции с применением синтетических материалов должны получить адекватное их клинической ситуации противоопухолевое лечение, включающее лучевую терапию, но частота осложнений в различных источниках колеблется от приемлемой до высокой.

В рамках нашего исследования нам удалось достичь сравнительно низкой частоты развития значимых ос-



ложнений при сохранении высоких онкологических показателей выживаемости благодаря современным методикам лучевого лечения и применению научно обоснованных методик сопроводительной терапии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злокачественные новообразования в России в 2016 г. (заболеваемость и смертность). – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2017.
2. Tsoi B., Ziolkowski N.I., Toma A. et al. Systematic review on the patient-reported outcomes of tissue-expander/implant vs autologous abdominal tissue breast reconstruction in postmastectomy breast cancer patients // J. Amer. Coll. Surg. 2014. Vol. 218. № 5. P. 1038–1048.
3. Zhong T., Hu J., Bagher S. et al. A comparison of psychological response, body image, sexuality, and quality of life between immediate and delayed autologous tissue breast reconstruction: a prospective long-term outcome study // Plastic and Reconstr. Surg. 2016. Vol. 138. № 4. P. 772–780.
4. O'Sullivan B., Levin W. Late radiation-related fibrosis: pathogenesis, manifestations, and current management // Seminars in Radiat. Oncol. 2003. Vol. 13. № 3. P. 274–289.
5. Hawkins D., Abrahamse H. Biological effects of helium-neon laser irradiation on normal and wounded human skin fibroblasts // Photomed. and Laser Surg. 2005. Vol. 23. № 3. P. 251–259.
6. Peirong Yu. Breast reconstruction at the MD Anderson Cancer Center // Gland Surg. 2016. Vol. 5. № 4. P. 416–421.
7. Quinn T.T., Miller G.S., Rostek M. et al. Prosthetic breast reconstruction: indications and update // Gland Surgery. 2016. Vol. 5. № 2. P. 174–186.
8. El-Sabawi B., Sosin M., Carey J.N. et al. Breast reconstruction and adjuvant therapy: A systematic review of surgical outcomes // J. Surg. Oncol. 2015. Vol. 112. № 5. P. 458–464.
9. El-Sabawi B., Carey J.N., Hagopian T.M. et al. Radiation and breast reconstruction: Algorithmic approach and evidence-based outcomes // J. Surg. Oncol. 2016. Vol. 113. № 8. P. 906–912.
10. Carnevale A., Scaringi C., Scalabrino G. et al. Radiation therapy after breast reconstruction: outcomes, complications and patient satisfaction // Radiol. Med. 2013. Vol. 118. № 7. P. 1240–1250.
11. Piroth M.D., Piroth D.M., Pinkawa M. et al. Immediate reconstruction with an expander/implant following ablation mammae because of breast cancer: side effects and cosmetic results after adjuvant chest wall radiotherapy // Strahlentherapie und Onkologie. 2009. Vol. 185. № 10. P. 669–674.
12. Wagner R.M., Spzunar S.M., Stefani W.A. et al. Radiation and depression associated with complications of tissue expander reconstruction. In Proc. of the Tirty-Eighth Annual CTCR-AAACR San Antonio Breast Cancer Symposium: 2015 Dec 8–12; San Antonio, TX. Philadelphia (PA): AACR // Cancer Res. 2016. Vol. 76. Suppl. 4. Abstract nr P2-13-02.
13. Fischer L.H., Nguyen D. Double-chamber tissue expanders optimize lower pole expansion in immediate breast reconstruction requiring adjuvant radiation therapy // Ann. Plast. Surg. 2016. Vol. 76. Suppl 3. P. S171-4.
14. Berry T., Brooks S., Sydow N. et al. Complication rates of radiation on tissue expander and autologous tissue breast reconstruction // Ann. Surg. Oncol. 2010. Vol. 17. P. S202–S210.

**Для цитирования:** Тимошкина Е.В., Ткачев С.И., Назаренко А.В., Трофимова О.П., Глебовская В.В., Иванов С.М., Борисова Т.Н. Результаты комплексного лечения больных раком молочной железы, включающего реконструктивно-пластическую операцию с применением синтетических материалов, химиотерапию и конформную лучевую терапию // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 19–25.

DOI: 10.12737/article\_5bc8965ecf7302.64445070

## Outcomes of Combined Treatment for Breast Cancer with Immediate Implant-Based Breast Reconstruction, Chemotherapy and Conformal Radiotherapy

**E.V. Timoshkina, S.I. Tkachev, A.V. Nazarenko, O.P. Trofimova, V.V. Glebovskaya, S.M. Ivanov, T.N. Borisova**

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia. E-mail: doctoretim@gmail.com

E.V. Timoshkina – Radiation Oncologist; S.I. Tkachev – Leading Researcher, Dr. Sc. Med., Prof., Vice-President of RATRO; A.V. Nazarenko – Head of Dep., PhD Med.; O.P. Trofimova – Leading Researcher, Dr. Sc. Med., Prof., RATRO Member, RUSSCO Member, Russian Oncologists Association Member, ARCA Member, Member of Association of Specialists of Problem of the Melanoma, Member of Russian Oncomammologists; V.V. Glebovskaya – Senior Researcher, PhD Med.; S.M. Ivanov – Senior Researcher, PhD Med.; T.N. Borisova – Senior Researcher, PhD Med.

#### Abstract

**Purpose:** To evaluate the oncological results and late complication rate in breast cancer patients who underwent immediate implant-based breast reconstruction and adjuvant radiotherapy.

**Material and methods:** 32 patients with I–IIIC breast cancer after combined treatment which included immediate implant-based breast reconstruction, chemotherapy and radiotherapy, were reviewed.

**Results:** All 32 patients got skin erythema as an acute adverse effect. 6 (18 %) of them got acute mucositis. Median follow-up was 35 months (range 12–112 months). 2 (6 %) patients had local recurrence after 46 and 31 months since the operation day. Locoregional control rate was 94 %. 9 (28 %) patients presented distant metastases at term 8–71 months since the operation day, and metastases in bones, brain, lungs, liver and non-regional lymph nodes were diagnosed. 2 (6 %) patients died because of disease progression.

Late adverse effects of skin and soft tissue in irradiated area were found in 4 (13 %) patients – capsular contracture was diagnosed 1 ( $n = 1$ ), 2 ( $n = 2$ ) and 3 ( $n = 1$ ) stages. In two cases of four, capsular contracture was asymptomatic and found during the second stage of breast reconstruction while changing tissue expander to implant. Capsulotomy was performed, and aesthetic effect was good. In one case capsular contracture was the reason of implant removal, and then second reconstruction using tissue expander was performed.

**Conclusion:** Nowadays immediate implant-based breast reconstruction is an essential part of combined treatment. Breast cancer patients after immediate implant-based breast reconstruction can be treated in adequate manner, and breast reconstruction is not a contraindication for radiotherapy. Low complication rates can still be acquired with the use of state-of-art 3D and 4D radiotherapy techniques and supportive care.

**Key words:** breast cancer, breast reconstruction, tissue expander, radiotherapy, late complications



## REFERENCES

1. Malignant neoplasms in Russia in 2016 (Morbidity and Mortality Rates). Moscow; 2017. Russian.
2. Tsoi B, Ziolkowski NI, Thoma A, Campbell K, O'Reilly D, Goeree R. Systematic review on the patient-reported outcomes of tissue-expander/implant vs autologous abdominal tissue breast reconstruction in postmastectomy breast cancer patients. *J Am Coll Surg*. 2014 May;218(5):1038-48.
3. Zhong T, Hu J, Bagher S, Vo A, O'Neill AC, Butler K, et al. A Comparison of Psychological Response, Body Image, Sexuality, and Quality of Life between Immediate and Delayed Autologous Tissue Breast Reconstruction: A Prospective Long-Term Outcome Study. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2016 October;138(4):772-80.
4. O'Sullivan B, Levin W. Late Radiation-Related Fibrosis: Pathogenesis, Manifestations, and Current Management. *Seminars in Radiation Oncology*. 2003 July;13(3):274-89.
5. Hawkins D, Abrahamse H. Biological Effects of Helium-Neon Laser Irradiation on Normal and Wounded Human Skin Fibroblasts. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2005;23(3):251-59.
6. Peirong Y. Breast reconstruction at the MD Anderson Cancer Center. *Gland Surgery*. 2016 Aug;5(4):416-21.
7. Quinn TT, Miller GS, Rostek M, Cabalag MS, Rozen WM, Hunter-Smith DJ. Prosthetic breast reconstruction: indications and update. *Gland Surgery*. 2016;5(2):174-86.
8. El-Sabawi B, Sosin M, Carey JN, Nahabedian MY, Patel KM. Breast reconstruction and adjuvant therapy: A systematic review of surgical outcomes. *J Surg Oncol*. 2015 Oct;112(5):458-64.
9. El-Sabawi B, Carey J, Hagopian T, Sbitany H, Patel KM. Radiation and breast reconstruction: Algorithmic approach and evidence-based outcomes. *J Surg Oncol*. 2016 Jun;113(8):906-12.
10. Carnevale A, Scaringi C, Scalabrino G, Campanella B, Osti MF, De Sanctis V, et al. Radiation therapy after breast reconstruction: outcomes, complications and patient satisfaction. *Radiol Med*. 2013 Oct;118(7):1240-50.
11. Piroth MM, Piroth DM, Pinkawa M, Woodruff SG, Holy R, Eble MJ. Immediate Reconstruction with an Expander/Implant Following Ablatio Mammae because of Breast Cancer: Side Effects and Cosmetic Results after Adjuvant Chest Wall Radiotherapy. *Strahlentherapie und Onkologie*. 2009 Oct;185(10):669-74
12. Wagner RM, Spzunar SM, Stefani WA, Williams JL, Edhayan E, Dul CL, et al. Radiation and depression associated with complications of tissue expander reconstruction. [abstract]. In *Proceedings of the Thirty-Eighth Annual CTCRC-AACR San Antonio Breast Cancer Symposium: 2015 Dec 8-12; San Antonio, TX. Philadelphia (PA): AACR; Cancer Res*. 2016;76(4 Suppl):Abstract nr P2-13-02.
13. Fischer LH, Nguyen D. Double-Chamber Tissue Expanders Optimize Lower Pole Expansion in Immediate Breast Reconstruction Requiring Adjuvant Radiation Therapy. *Ann Plast Surg*. 2016 May;76 (Suppl 3):S171-4.
14. Berry T, Brooks S, Sydow N, Djohan R, Nutter B, Lyons J, Dietz J. Complication Rates of Radiation on Tissue Expander and Autologous Tissue Breast Reconstruction. *Ann Surg Oncol*. 2010;17:S202-10.

**For citation:** Timoshkina EV, Tkachev SI, Nazarenko AV, Trofimova OP, Glebovskaya VV, Ivanov SM, Borisova TN. Outcomes of Combined Treatment for Breast Cancer with Immediate Implant-Based Breast Reconstruction, Chemotherapy and Conformal Radiotherapy. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2018;63(5):19-25. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc8965ecf7302.64445070

**А.Д. Рыжков<sup>1</sup>, Л.П. Яковлева<sup>1</sup>, А.С. Крылов<sup>1</sup>, С.В. Ширяев<sup>1</sup>, М.А. Кропотов<sup>2</sup>,  
В.А. Соболевский<sup>1</sup>, Ю.Ю. Диков<sup>1</sup>, Р.Б. Азимова<sup>1</sup>, В.Ю. Ивашков<sup>1</sup>**

## **ОФЭКТ/КТ В ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ АУТОТРАНСПЛАНТАТОВ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ**

1. Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Блохина Минздрава РФ, Москва.

E-mail: krilovas@rambler.ru; 2. Московский клинический научно-практический центр имени А.С. Логинова Департамента здравоохранения г. Москвы

А.Д. Рыжков – в.н.с., д.м.н.; Л.П. Яковлева – к.м.н., зав. отделением, к.м.н., член RUSSCO, член Ассоциации эндокринных хирургов России, член Общества специалистов по лечению опухолей головы и шеи; А.С. Крылов – врач-радиолог, к.м.н., член Европейской ассоциации ядерной медицины и молекулярной визуализации; С.В. Ширяев – зав. лабораторией, д.м.н., президент ООМВ (Онкологическое общество молекулярной визуализации), член Европейской ассоциации ядерной медицины и молекулярной визуализации, член Американской коллегии ядерной медицины и молекулярной визуализации, член Общества ядерной медицины и молекулярной визуализации (США); М.А. Кропотов – в.н.с., д.м.н., член RUSSCO, Ассоциации эндокринных хирургов России, Общества специалистов по лечению опухолей головы и шеи; В.А. Соболевский – д.м.н., зав. отделением; Ю.Ю. Диков – н.с., к.м.н.; Р.Б. Азимова – н.с., к.м.н.; В.Ю. Ивашков – н.с.

### **Реферат**

**Цель:** Определение эффективности метода ОФЭКТ/КТ в оценке жизнеспособности костных фрагментов при реконструкции нижней и верхней челюсти ревааскуляризованными аутооттрансплантатами.

**Материал и методы:** Обследованы 19 пациентов с диагнозами рака слизистой оболочки полости рта ( $n = 16$ ) и первичных опухолей нижней челюсти ( $n = 3$ ). Всем пациентам была выполнена сегментарная резекция нижней, а в одном наблюдении – верхней челюсти, с одномоментной реконструкцией дефекта кости и мягких тканей полости рта с использованием свободных ревааскуляризованных аутооттрансплантатов. Из 19 пациентов у 16 был использован малоберцовый комбинированный лоскут, у 2 пациентов – гребень подвздошной кости и в 1 случае – лопаточный лоскут. Для контроля состояния аутооттрансплантата использовали методы сцинтиграфии и ОФЭКТ/КТ скелета. ОФЭКТ/КТ выполнялась на 4–5 день после операции.

**Результаты:** У 17 больных послеоперационный период протекал без клинических осложнений. В двух случаях оценить состояние кожной площадки не представлялось возможным. По данным остеосцинтиграфии достоверная информация о состоянии трансплантата была получена в 10 из 17 случаев у больных с неосложненным послеоперационным течением и у 1 из 2 пациентов с признаками некроза фрагментов трансплантата. При жизнеспособном трансплантате во все случаях на ОФЭКТ/КТ-изображения отмечалось повышенное накопление РФП, а при тромбозе питающих аутооттрансплантат сосудов – отсутствие аккумуляции РФП.

Таким образом, при ОФЭКТ/КТ получены достоверные данные в 100 % клинических случаев.

**Выводы:** ОФЭКТ/КТ рекомендуется для использования в раннем послеоперационном контроле пациентов, перенесших реконструктивные оперативные вмешательства с формированием челюстных аутооттрансплантатов. Результаты ОФЭКТ/КТ позволяют адекватно оценивать эффективность кровотока и жизнеспособность перемещенных свободных костных трансплантатов.

**Ключевые слова:** реконструкция челюсти, жизнеспособность аутооттрансплантата, остеосцинтиграфия, ОФЭКТ/КТ

Поступила: 07.11.2017. Принята к публикации: 05.09.2018

### **Введение**

Для лечения больных со злокачественными опухолями слизистой оболочки полости рта, языка и первичных опухолей нижней челюсти в современной онкологии принят мультидисциплинарный подход, заключающийся в использовании всех видов противоопухолевого лечения (хирургическое вмешательство, лучевая и химиотерапия). Хирургическое лечение данной патологии практически во всех случаях является обязательным компонентом лечения и, зачастую, носит расширенно-комбинированный характер с резекцией костных структур: нижней или верхней челюсти. При этом выполнение подобных расширенно-комбинированных вмешательств должно сочетаться с обязательной одномоментной реконструкцией дефекта тканей, в том числе и костной, что позволяет достигнуть не только приемлемого онкологического результата, но и адекватной социальной реабилитации пациента за счет восстановления внешнего вида, функций жевания, глотания и речи [1]. Основными требованиями к реконструкции являются надежность трансплантата, позволяющая замещать протяженные костные и

мягкотканые дефекты, а также возможность быстрой реабилитации пациента и своевременного проведения специфического химио- и лучевого лечения. Конечной целью выполнения реконструктивной операции является наиболее полная медицинская и социальная реабилитация пациента [2, 3].

При реконструкции челюсти аутогенная кость считается наиболее остеоиндуктивным материалом, она наименее подвержена отторжению и ее трансплантация признается «золотым стандартом» лечения ограниченных дефектов нижней челюсти. Аутооттрансплантаты забираются из определенных донорских мест в трех формах: губчатой, кортикальной и губчато-кортикальной [4, 5]. Расположение дефекта часто диктует тип трансплантата, требуемого для реконструкции [6]. Пересадка кровоснабжаемого лоскута в условиях постлучевых изменений окружающих тканей является общепризнанным оптимальным методом закрытия дефекта после удаления опухоли. Одномоментная реконструкция любых возникающих нижнечелюстных дефектов позволяет улучшить качество жизни пациентов и повышает радикальность оперативного вмешательства [3].

В послеоперационном периоде наиболее важным является оценка жизнеспособности пересаженной кости. При комбинированном характере трансплантата, когда кожный фрагмент подшивается к краям дефекта слизистой оболочки в полости рта, у клинициста есть возможность оценки его жизнеспособности по состоянию кожного фрагмента трансплантата: цвету кожи, сосудистой реакции кожи. Эти признаки позволяют достаточно адекватно оценивать недоступные для визуальной оценки мышечную и костную часть ауто-трансплантата и эффективность работы анастомозов.

Когда реконструкция нижней челюсти выполнена без выкраивания кожи, адекватно оценить состояние пересаженной костной ткани сложно. Помощь может оказать радиоизотопное исследование костной системы [7, 8]. Но из-за отёка мягких тканей и реактивного накопления в них радиофармпрепарата (РФП) плоскостная картина при остеосцинтиграфии не всегда позволяет получить правильную оценку гемодинамического состояния пересаженной кости. Однако пространственная картина при однофотонной эмиссионной томографии, комбинированной с рентгеновской компьютерной томографией (ОФЭКТ/КТ) позволяет оценить аккумуляцию РФП дифференцированно в костной ткани и мягкотканых структурах [9, 10].

Цель исследования – определить эффективность ОФЭКТ/КТ в оценке жизнеспособности костных фрагментов при реконструкции нижней и верхней челюсти реваскуляризованными ауто-трансплантатами.

### Материал и методы

Обследованы 19 пациентов, проходивших лечение в РОНЦ им. Н.Н. Блохина в 2011–2014 гг. с диагнозами рака слизистой оболочки полости рта ( $n = 16$ ) и первичными опухолями нижней челюсти ( $n = 3$ ). Наибольшее количество наблюдений составили пациенты с комбинированными дефектами полости рта, протяженностью костного дефекта до 10 см, с обширным опухолевым поражением слизистой оболочки в области дна полости рта с распространением на тело или ветвь нижней челюсти.

Перед началом лечения для оценки распространенности опухолевого процесса всем пациентам производили визуальный осмотр, морфологическое подтверждение диагноза (биопсия опухоли), ортопантомографию, КТ и МРТ челюстно-лицевой области, рентгенологическое исследование легких, УЗИ периферических лимфатических узлов и органов брюшной полости, остеосцинтиграфию.

На основании данных обследования для каждого пациента индивидуально обосновывали алгоритм лечения и метод реконструкции. На этапе планирования операции выполняли разметку забираемого ауто-трансплантата по стандартным анатомическим ориентирам, а также оценку состояния сосудов донорской зоны с помощью ультразвуковой доплерографии на портативном аппарате Sonosite.

Всем пациентам выполнялось хирургическое лечение, включающее сегментарную резекцию нижней, а

одном наблюдении – верхней челюсти, и одномоментную реконструкцию дефекта кости и мягких тканей полости рта с использованием свободных реваскуляризованных ауто-трансплантатов.

Из 19 пациентов у 16 для трансплантации был использован малоберцовый комбинированный лоскут, у 2 пациентов – гребень подвздошной кости и в 1 случае – лопаточный лоскут.

Для оценки состояния реконструированного ауто-трансплантата проводили ОФЭКТ/КТ области головы и шеи. ОФЭКТ/КТ выполнялась на 4–5 день после операции в 2 этапа. На первом этапе выполнялось планарная остеосцинтиграфия в режиме «всё тело» или только области головы и шеи через 3 ч после внутривенного введения РФП  $^{99m}\text{Tc}$ -технефора. Активность вводимого РФП рассчитывалась по массе тела пациента.

Вторым этапом проводилась ОФЭКТ/КТ головы и шеи с получением эмиссионных радионуклидных и трансмиссионных рентгеновских томограмм и формированием совмещённых мультимодальных изображений.

При выполнении исследований на комбинированной ОФЭКТ/КТ-системе Simbia T2 (Siemens, Германия) с 2-срезовой конфигурацией КТ задавались толщина среза 5 мм, шаг спирали 1,5 мм, размер фокусного пятна согласно IAC 60 360 0,8×0,4 мм/8°, 0,8×0,7 мм/8°. Параметры матрицы: 128×128, 64 угловые позиции при вращении детекторов, время записи на один угол вращения 10–30 с.

При обработке изображений выполнялась коррекция ослабления излучения. В зависимости от визуализируемого органа или ткани проводился выбор соответствующего фильтра В 30 для мягких тканей или В 60 для костей. Интерпретация результатов исследования проводилась в соответствующем органном окне.

Верификация результатов радионуклидной диагностики осуществлялась путём наблюдения за кожным лоскутом трансплантата и динамического контроля, т.к. инструментальные методы морфологической визуализации не информативны в оценке функционального состояния пересаженного трансплантата.

### Результаты

В подавляющем числе случаев (у 17 пациентов из 19–89 %) при проведении контрольного исследования (как правило, на 4–5 сут) отмечалось повышенное накопление РФП в области установленного трансплантата, что указывало на наличие его кровоснабжения и соответствовало клинической ситуации. У 2 пациентов оценить состояние костного фрагмента трансплантата по состоянию кожной площадки не представлялось возможным из-за полного или частичного некроза кожной части лоскута. При проведении радиоизотопного сканирования и ОФЭКТ/КТ у этих пациентов на скинтиграммах отмечалось отсутствие аккумуляции радиофармпрепарата (РФП) в тех или иных отделах трансплантата, указывающее на отсутствие признаков кровотока, либо его снижение в отдельных фрагментах лоскута.



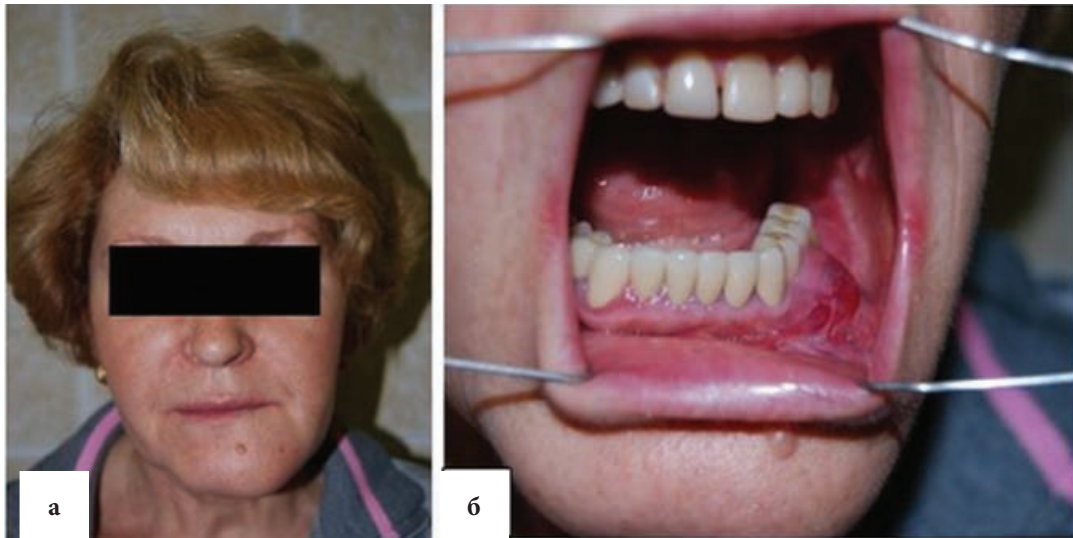


Рис. 1 (а, б). Пациентка С. Общий вид (а) и вид опухоли со стороны полости рта (б). Имеется деформация контуров лица за счет наличия массивной опухоли, локализуемой в теле нижней челюсти слева. Опухоль «раздувает» и деформирует тело нижней челюсти слева на большом протяжении

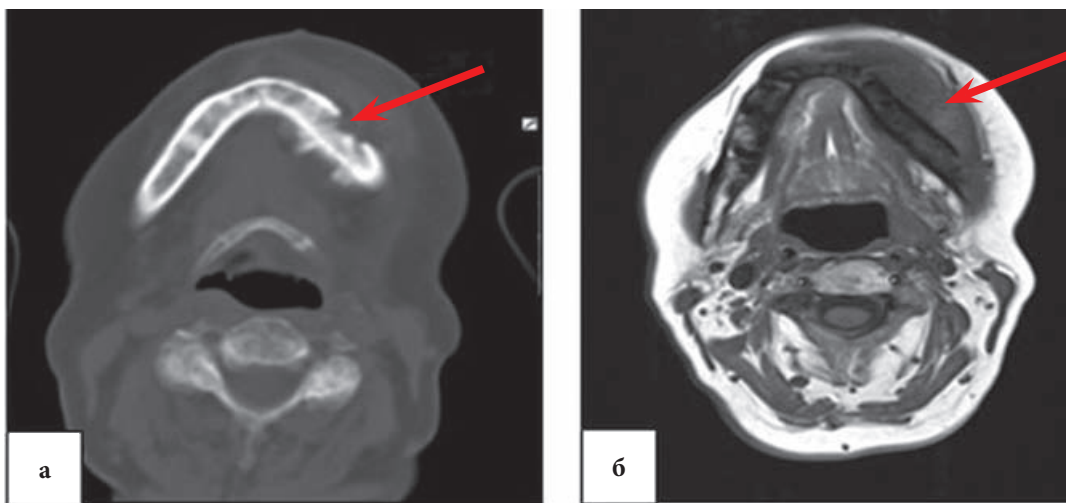


Рис. 2 (а, б). Данные компьютерной (а) и магнитно-резонансной томографии (б). Выявлено поражение тела нижней челюсти слева

На рис. 1–6 приводится пример удачной реконструктивно-пластической операции по восстановлению тела нижней челюсти на значительном протяжении с применением малоберцового комбинированного трансплантата, выполненной по поводу распространенной остеогенной саркомы нижней челюсти: пациентке С. 60 лет, обратилась в РОНЦ по поводу поражения тела нижней челюсти. Пациентке была выполнена операция по удалению остеогенной саркомы нижней челюсти в виде сегментарной резекции нижней челюсти с резекцией тканей дна полости рта и прилегающих отделов щеки с одномоментной реконструкцией дефекта комбинированным малоберцовым ауто трансплантатом на микрососудистых анастомозах с фиксацией трансплантата на всем протяжении реконструктивной титановой пластиной.

Из 19 наблюдений в 2 случаях после реконструкции тела нижней челюсти в послеоперационном периоде клинически отмечалась несостоятельность сосудистых анастомозов вследствие тромбоза, приведшая

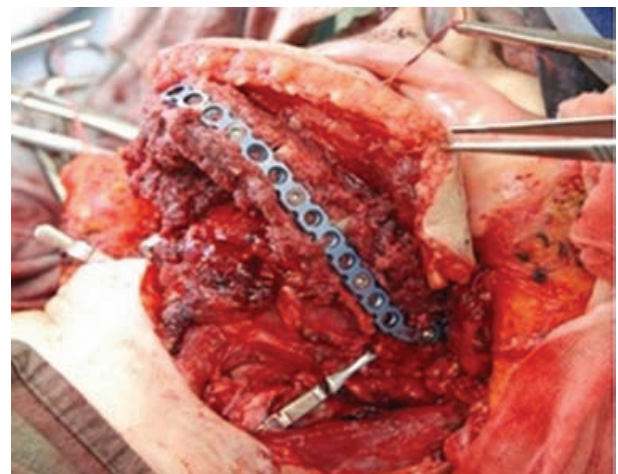


Рис. 3. Вид адаптированного к полости рта малоберцового трансплантата. Непрерывность нижней челюсти восстановлена, наложены микрососудистые анастомозы, сформированный костный фрагмент ауто трансплантата зафиксирован титановой пластиной



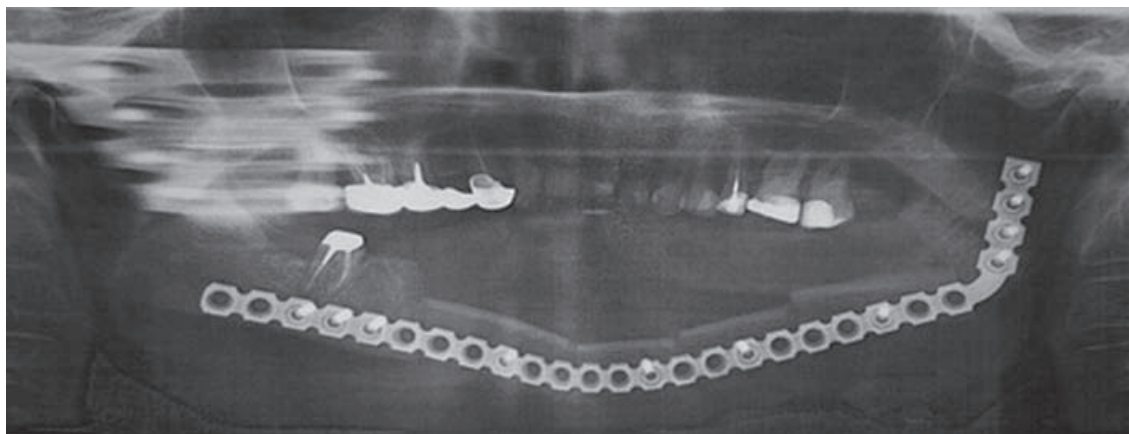


Рис. 4. Ортопантограмма в послеоперационном периоде. Восстановлена непрерывность тела нижней челюсти с фиксацией на титановую пластину

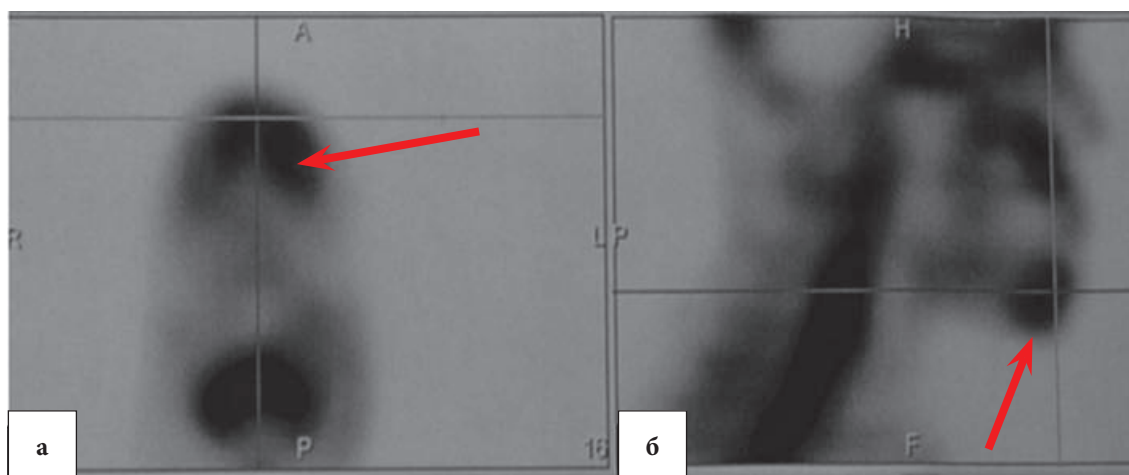


Рис. 5 (а, б). Остеосцинтиграммы в режиме ОФЭКТ головы на 3 сут после операции. На аксиальном (а) и сагитальном (б) срезах отмечается гипераккумуляция РФП в перемещенном аутотрансплантате, что свидетельствует об адекватном кровоснабжении и жизнеспособности последнего



Рис. 6. Пациентка С. Окончательный вид после реконструкции нижней челюсти

к некрозу аутотрансплантата. На рис. 7 приведен пример, когда у пациента на 3 сут после сегментарной резекции нижней челюсти с тканями дна полости рта и пластикой ревазуляризованным подвздошным аутотрансплантатом появились признаки недостаточности кровоснабжения лоскута. На основании клинических данных и данных ОФЭКТ/КТ пациенту было произведено удаление некротизировавшегося аутотрансплантата с повторной пластикой дефекта перемещенным кожно-мышечным лоскутом без восстановления непрерывности тела нижней челюсти.

Ниже в табл. 1 приведены результаты проведенного исследования с расчётами диагностической эффективности используемых методик. Используются стандартные сокращения следующих показателей: ИП – истинно положительный, ИО – истинно отрицательный, ЛО – ложноотрицательный, ЛП – ложноположительный, Ч – чувствительность, С – специфичность, ОПЦ – отрицательная прогностическая ценность, ППЦ – положительная прогностическая ценность.

Из приведенных в табл. 1 сравнительных данных видно, что ОФЭКТ/КТ позволяет обеспечить досто-

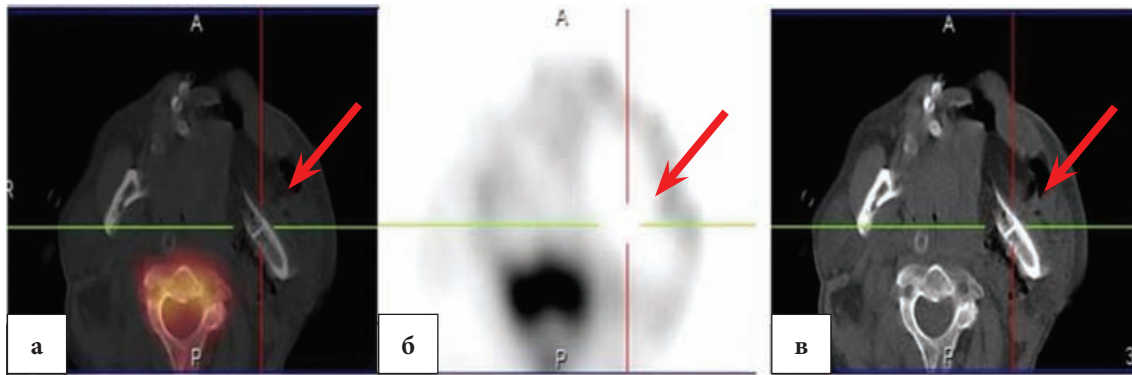


Рис. 7 (а, б, в). ОФЭКТ/КТ области головы пациента В. на 3 сут после операции. На аксиальных срезах (а, б, в) определяется отсутствие накопления РФП в области установленного трансплантата и в подлежащих мягких тканях щеки, свидетельствующее об отсутствии кровотока в исследуемой области

Таблица 1

**Оценка кровоснабжения трансплантата по данным радиоизотопного сканирования и ОФЭКТ/КТ**

Метод \ Результат	ИП	ИО	ЛО	ЛП	Ч, %	С, %	ОПЦ, %	ППЦ, %
Остеосцинтиграфия, «всё тело»	10	1	8	0	55,6	100	11,1	100
ОФЭКТ/КТ	17	2	0	0	100	100	100	100

верность 100 % результатов исследования по сравнению со стандартным радиоизотопным сканированием скелета. Так, при планарном исследовании было получено 8 ложноотрицательных результатов, тогда как при гибридной визуализации не было получено ни одного ложного результата. На основании этого можно с уверенностью утверждать, что использование ОФЭКТ/КТ дает значительные преимущества в диагностике состояния сформированного ауто трансплантата. В то же время, выполнение сканирования костей скелета является необходимой предварительной процедурой для поиска функциональных и органических изменений в костной системе.

### Обсуждение

Внедрение в клиническую практику метода ОФЭКТ/КТ позволило по-новому подойти к проблеме диагностики костных заболеваний и уже подтвердило свою высокую эффективность в выявлении патологии. Гибридные камеры, сочетающие возможности радиоизотопного и рентгенологического методов, позволяют оценивать не только структурные изменения в костной ткани, но и выявлять функциональные особенности, такие как кровоснабжение тех или иных костных фрагментов, интенсивность костного метаболизма (биохимического и минерального) в зонах измененной структуры. Особенностью гибридных систем является возможность совмещения рентгенологической картины с радиоизотопным изображением, обеспечивая точную анатомическую привязку структурных нарушений к физиологическим изменениям. Совмещение рентгеновской и радиоизотопной картин даёт возможность проводить и дифференциальную диагностику.

Вопрос о состоянии трансплантатов при замещении дефектов нижней челюсти решался разными ав-

торами в основном путем клинических наблюдений, рентгенологических и морфологических исследований репаративных процессов в костной ткани после пересадки различных по характеру и виду трансплантатов [8]. Необходимо учесть, что челюстная трансплантация в мире приобретает всё большую актуальность, и связано это не только с ростом числа опухолевых поражений, но и увеличением частоты возникновения остеонекрозов, индуцированных применением бисфосфонатов. Причем, критически важным является оценка состояния ауто трансплантата в первые две недели. Для контроля челюстных реконструктивных операций наиболее широко используются панорамная рентгенография, КТ и МРТ, а из радиоизотопных методов – прицельное сканирование и ОФЭКТ. Применение гибрида ОФЭКТ/КТ для оценки жизнеспособности трансплантата позиционируется как одно из наиболее перспективных направлений. Предпочтение данному методу перед другими методами, в том числе и КТ и МРТ, отдаёт ряд авторов [11].

Проведённое нами исследование подтвердило высокую эффективность ОФЭКТ/КТ в оценке жизнеспособности челюстных ауто трансплантатов. Наиболее частой причиной нарушения послеоперационного перфузии пересаженных фрагментов и лоскутов является тромбоз артериальных или венозных анастомозов, которые не могут быть выявлены при клиническом осмотре. И КТ или МРТ не способны выявить столь тонкие анатомические нарушения [12]. Кроме того, существуют и другие известные ограничения, такие как артефакты от зубов, пломб и металлических устройств.

Сцинтиграфия костей как неинвазивный метод играет важную роль в определении сосудистой проходимости шунтов. Поглощение РФП в кости отражает кровоток и метаболизм активность костной ткани.

Поэтому усвоение  $^{99m}\text{Tc}$ -фосфонатов в привитой кости обычно трактуется как доказательство приживания костных фрагментов и состоятельности микрососудистых анастомозов. Пространственная картина в срезовом воспроизведении при ОФЭКТ/КТ лишена артефактов от плоскостного наложения различных анатомических структур, аккумулирующих РФП. Поэтому имеется возможность точного определения аккумуляции радиоиндикатора в конкретном регионе, и положительный тест является наиболее точной оценкой состояния кровоснабжения и тканевого метаболизма установленных фрагментов аутотрансплантата.

Следует отметить, что физиологически диффундирующие РФП, такие как фосфонаты, накапливаются не только в костной ткани, но и в мягких тканях, на что есть свои механизмы. Как показывает полученный опыт, включение РФП в прилежащие мягкие ткани служит положительным тестом наличия гемодинамики в пересаженном лоскуте даже при сложностях интерпретации накопления РФП в костной ткани установленных фрагментов аутотрансплантата.

Важным наблюдением является возможное различие в накоплении РФП в отдельных фрагментах аутотрансплантата, а, следовательно, и их кровоснабжения. Наличие факта хорошей аккумуляции РФП даже в одном фрагменте является надёжным признаком жизнеспособности всей реконструированной челюсти.

### Выводы

1. ОФЭКТ/КТ рекомендуется для использования в раннем послеоперационном контроле пациентов, перенесших реконструктивные оперативные вмешательства с формированием челюстных аутотрансплантатов, т.к. дает хирургу дополнительную возможность правильно интерпретировать клиническую картину и своевременно реагировать на возникшие проблемы, избегая тем самым развития тяжелых токсических и некротических осложнений.

2. Анализ результатов выполненных исследований в сопоставлении с клиническими данными и результатами лечения дает возможность говорить о высокой диагностической эффективности ОФЭКТ/КТ костной системы в диагностике состояния ревааскуляризованных аутотрансплантатов при реконструкции костных дефектов нижней и средней зоны лица, позволяя адекватно оценивать эффективность кровотока и жизнеспособность перемещенных свободных костных трансплантатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников Н.А. Костная пластика нижней челюсти. – М.: Медицина. 2003. 136 с.
2. Матякин Е.Г. Реконструктивная пластическая хирургия при опухолях головы и шеи // Опухоли головы и шеи: Европейская школа онкологов. – М.: 1993.
3. Неробеев А.И., Вербо Е.В., Караян А.С., Дробот Г.В. Замещение дефектов нижней зоны лица после удаления новообразований нижней челюсти // *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии*. 1997. № 3. С. 24–31.
4. Imasato S., Fukunishi K. Potential efficacy of GTR and autogenous bone grafts for autotransplantation to recipient sites with osseous defects: evaluation by re-entry procedure // *Dent. Traumatol.* 2006. Vol. 20. № 1. P. 42–47.
5. Bauss O., Fenske C., Schilke R., Schwestka-Polly R. Autotransplantation of immature third molare into edentulous and atrophied jam sections // *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2007. Vol. 33. № 6. P. 558–563.
6. Behrens P., Schwaninger M., Meiss L. Calcium phosphate bone substitute materials: a long term follow up. // *J. Bone Joint Surg. (Brit.)*. 2007. Vol. 79. P. 161–167.
7. Hervas I., Floria L.M., Bello P. et al. Microvascularized fibular graft for mandibular reconstruction. Detection of viability by bone scintigraphy and SPECT // *Clin. Nucl. Med.* 2001. Vol. 26. P. 225–229.
8. Malizos K.N., Soucacos P.N., Vragalas V et al. Three phase bone scanning and digital arteriograms for monitoring vascularized fibular grafts in femoral head necrosis // *Fotopoulos Ant. Angiol.* 1995. Vol. 14. № 3/ P. 319–326.
9. Acton C.H., Layt C., Gwynne R. et al. Investigative modalities of mandibular invasion by squamous cell carcinoma // *Laryngoscope*. 2000. Vol. 110. № 12. P. 2050–2055.
10. Aydogan F., Akbay E., Cevik C., Kalender E. Blood-pool SPECT in addition to bone SPECT in the viability assessment in mandibular reconstruction // *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2014. Vol. 18. № 4. P. 587–592.
11. Van Cann E., Koole R., Oyen W. et al. Assessment of mandibular invasion of squamous cell carcinoma by various modes of imaging: constructing a diagnostic algorithm // *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2008. Vol. 37. P. 535–541.
12. Рыжков А.Д., Яковлева Л.П., Крылов А.С. и соавт. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ/КТ) в оценке жизнеспособности челюстных аутотрансплантатов у больных злокачественными опухолями головы и шеи // В кн: Сб. научных работ III Петербургского Международного онкологического форума «Белые ночи 2017» ФГБУ «НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России. 2017. С. 38.
13. Buyukdereli G., Guney I.B., Ozerdem G., Kesikstas E. Evaluation of vascularized graft reconstruction of the mandible with Tc-99m MDP bone scintigraphy // *Ann. Nucl. Med.* 2006. Vol. 20. № 2. P. 89–93.

**Для цитирования:** Рыжков А.Д., Яковлева Л.П., Крылов А.С., Ширяев С.В., Кропотов М.А., Соболевский В.А., Диков Ю.Ю., Азимова Р.Б., Ивашков В.Ю. ОФЭКТ/КТ в послеоперационной диагностике функционального состояния аутотрансплантатов челюстно-лицевой области // *Мед. радиология и радиационная безопасность*. 2018. Т. 63. № 5. С. 26–32.

DOI: 10.12737/article\_5bc8968bb9d9a3.36167944



**SPECT/CT in the Assessment of the Jaw Autograft Viability****A.D. Ryzhkov<sup>1</sup>, L.P. Yakovleva<sup>1</sup>, A.S. Krylov<sup>1</sup>, S.V. Shiryaev<sup>1</sup>, M.A. Kropotov<sup>2</sup>,  
V.A. Sobolevsky<sup>1</sup>, Yu.Yu. Dikov<sup>1</sup>, R.B. Azimova<sup>1</sup>, V.Yu. Ivashkov<sup>1</sup>**

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

2. A.S. Loginov Moscow Clinical Scientific Center. Moscow, Russia

A.D. Ryzhkov – Leading Researcher, Dr. Sc. Med.; L.P. Yakovleva – Head of the Dep., PhD Med, Member of RUSSCO, Member of the Russian Association of Endocrine Surgeons, Member of the Society of Specialists in the Treatment of Head and Neck Tumors; A.S. Krylov – Radiologist, PhD Med., Member of the European Association of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (EANMMI); S.V. Shiryaev – Head of Lab., Dr. Sc. Med., President of the OSMI, Member of EANMMI, Member of ACNMMI, Member of SNMMI; M.A. Kropotov – Leading Researcher, Dr. Sc. Med., Head of Dep., Member of RUSSCO, Member of the Russian Association of Endocrine Surgeons, Member of the Society of Specialists in the Treatment of Head and Neck Tumors; V.A. Sobolevsky – Head of Dep., Dr. Sc. Med.; Yu.Yu. Dikov – Research Worker, PhD Med.; R.B. Azimova – Research Worker, PhD Med.; V.Yu. Ivashkov – Research Worker

**Abstract**

**Purpose:** To evaluate the effectiveness of SPECT/CT for the assessment of graft viability following revascularized bone grafts in patients with mandibular (18) and maxilla (1) reconstruction.

**Material and methods:** We investigated 19 patients with revascularized grafts from the fibula (16 patients), iliac crest (2 patients) and shoulder blade graft (1). For the follow up of all these patients, <sup>99m</sup>Tc-MDP bone scintigraphy and SPECT/CT was performed between 4–5 days postoperatively. The evaluation of the grafts was based on a comparison of tracer uptake between graft and the cranium.

**Results:** 17 of 19 grafts had an uncomplicated clinical course. Complications in the graft occurred in two patients. In the analysis of planar scintigrams with uncomplicated healing were showed correct assessment in 10 of 17 patients and in 1 of 2 patients with signs of necrosis of graft fragments. SPECT/CT was performed in addition to planar imaging.

The increased uptake grafts were showed with SPECT/CT in all patients with uncomplicated clinical course. In the failed 2 grafts, decreased uptake was observed in both patients. In the analysis of SPECT/CT images the correct results were showed in all clinical cases.

**Conclusion:** SPECT/CT performed within 6 days after the mandibular reconstruction is a useful tool to monitor the viability and early complications of revascularized mandibular and maxilla bone grafts. SPECT/CT is also recommended to interpretation of the bone scans and to precise assessment of graft viability.

**Key words:** *maxilla and mandible reconstruction, autograft viability, bone scintigraphy, SPECT/CT*

**REFERENCES**

- Plotnikov NA (ed.). Bone plastic of the lower jaw. Moscow; 2003. 136 p. Russian.
- Matyakin EG. Reconstructive plastic surgery for head and neck tumors. Head and neck tumors: European School of Oncologists. Moscow; 1993. Russian.
- Nerobeev AI, Verbo EV, Karayan AS, Drobot GV. Substitution of defects in the lower zone of the face after removal of the mandibular neoplasms. Annals of plastic, reconstructive and aesthetic surgery. 1997;(3):24-31. Russian.
- Imasato S, Fukunishi K. Potential efficacy of GTR and autogenous bone grafts for autotransplantation to recipient sites with osseous defects: evaluation by re-entry procedure. Dent Traumatol. 2006;20(1):42-7. DOI:10.1111/j.1600-4469.2004.00227.x.
- Bauss O, Fenske C, Schilke R, Schweska-Polly R. Autotransplantation of immature third molare into edentulous and atrophied jam sections. Int J Oral Maxillofac Surg. 2007;33(6):558-63. DOI:10.1016/j.ijom.2003.10.008.
- Behrens P, Schwaninger M, Meiss L. Calcium phosphate bone substitute materials: a long term follow up. J Bone Joint Surg (Br). 2007;79:161-7.
- Hervas I, Floria LM, Bello P, et al. Microvascularized fibular graft for mandibular reconstruction. Detection of viability by bone scintigraphy and SPECT. Clin Nucl Med. 2001;26:225-9.
- Malizos KN, Soucacos PN, Vragalas V, et al. Three phase bone scanning and digital arteriograms for monitoring vascularized fibular grafts in femoral head necrosis. Fotopoulos Ant Angiol. 1995;14(3):319-26.
- Acton CH, Layt C, Gwynne R, et al. Investigative modalities of mandibular invasion by squamous cell carcinoma. Laryngoscope. 2000;110(12):2050-5. DOI:10.1097/00005537-200012000-00014.
- Aydogan F, Akbay E, Cevik C, Kalender E. Blood-pool SPECT in addition to bone SPECT in the viability assessment in mandibular reconstruction. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2014;18(4):587-92.
- Van Cann E, Koole R, Oyen W, et al. Assessment of mandibular invasion of squamous cell carcinoma by various modes of imaging: constructing a diagnostic algorithm. Int J Oral Maxillofac Surg. 2008;37:535–41. DOI:10.1016/j.ijom.2008.02.009.
- Ryzhkov AD, Yakovleva LP, Krylov AS, et al. Single-photon emission computed tomography (SPECT / CT) in assessing the viability of maxillary autografts in patients with malignant tumors of the head and neck. In the book: Collection of scientific works of the III Petersburg International Cancer Forum «White Nights 2017» FGBU «NN Petrov Research Institute of Oncology» of the Ministry of Health of Russia; 2017. 38 p. Russian.
- Buyukdereli G, Guney IB, Ozerdem G, Kesikstas E. Evaluation of vascularized graft reconstruction of the mandible with Tc-99m MDP bone scintigraphy. Ann Nucl Med. 2006;20(2):89-93.

**For citation:** Ryzhkov AD, Yakovleva LP, Krylov AS, Shiryaev SV, Kropotov MA, Sobolevsky VA, Dikov YuYu, Azimova RB, Ivashkov VYu. SPECT/CT in the Assessment of the Jaw Autograft Viability. Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63(5):26-32. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc8968bb9d9a3.36167944



Ю.Г. Григорьев<sup>1</sup>, Н.В. Чуешова<sup>2</sup>, Г.Г. Верещако<sup>2</sup>

## СОСТОЯНИЕ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС-САМЦОВ В РЯДУ ПОКОЛЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ ОБЛУЧЕННЫХ РОДИТЕЛЕЙ И ПОДВЕРГНУТЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОТ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА

1. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва.  
2. Институт радиобиологии НАН Белоруссии, Гомель, Белоруссия. E-mail: natalya-chueshova@tut.by

Ю.Г. Григорьев – в.н.с., проф., д.м.н., зам. председателя Научного комитета по радиобиологии РАН, вице-президент Российского комитета по защите от неионизирующих излучений, член Консультативного комитета ВОЗ по международной программе «ЭМП и здоровье населения»; Н.В. Чуешова – н.с.; Г.Г. Верещако – к.б.н., в.н.с.

### Реферат

**Цель:** Изучить состояние репродуктивной системы крыс-самцов трех поколений ( $F_1$ – $F_3$ ), полученных от облученных родителей и подвергнутых ежедневной экспозиции от мобильного телефона (1745 МГц, 8 ч/сут) до достижения ими возраста 6 мес.

**Материал и методы:** Белых крыс в возрасте 52–54 сут подвергали электромагнитной экспозиции от мобильного телефона (1745 МГц, 8 ч/сут, ППЭ 0,2–20 мкВт/см<sup>2</sup>, среднее значение  $7,5 \pm 0,3$  мкВт/см<sup>2</sup>) на протяжении 90 сут. Далее облученных самцов и самок спаривали в соотношении 1:2. Самок на протяжении всего периода беременности (20–21 сут) и полученное от них потомство ( $F_1$ ) продолжали облучать при вышеуказанном режиме до достижения возраста 6 мес. В возрасте 4 мес животные 1-го поколения (самцы и самки) спаривались для получения потомства 2-го поколения, а от них таким же образом получали потомство 3-го поколения. Состояние репродуктивной системы крыс-самцов трех поколений оценивали в возрасте 2, 4 и 6 мес.

**Результаты:** Установлено, что рождаемость у облученных животных трех поколений достоверно падает и составляет от 8 самок в 1-м, 2-м и 3-м поколениях соответственно 53,6; 86,3 и 45,0 % от контроля. Электромагнитное воздействие оказывало влияние на массу семенников, эпидидимисов и семенных пузырьков крыс трех поколений преимущественно в возрасте 4 и 6 мес. Следует отметить повышение массы семенников у животных всех трех поколений в возрасте 4 мес и у животных 3-го поколения в возрасте 6 мес. Масса эпидидимисов в основном имеет тенденцию к увеличению у 4-месячных животных  $F_1$ – $F_3$ , однако в возрасте 6 мес у 1-го поколения животных выявляется его падение, которое коррелирует с уменьшением числа эпидидимальных сперматозоидов. Отмечается также снижение абсолютной и относительной массы семенных пузырьков у облученных животных трех поколений в возрасте 2 мес.

У экспонированных животных трех поколений в возрасте 4 и 6 мес выявляется дезинтеграция процесса сперматогенеза, которая преимущественно выражается в нарушении этапов трансформации сперматид. У крыс-самцов 1-го поколения в возрасте 2 и 6 мес обнаруживается падение числа эпидидимальных сперматозоидов, в то время как у облученных животных 2-го и 3-го поколений в возрасте 2 мес наблюдается выраженное повышение количества этих клеток, которое достигает 166,1 и 261,0 % по отношению к контролю. Отмечено снижение жизнеспособности сперматозоидов во всех возрастных группах (2, 4 и 6 мес), которое носит статистически значимый характер в возрасте 2 и 4 мес животных 1-го поколения. У 2-месячных животных 1–3-го поколений, а также у 4-месячных 2-го поколения установлено снижение концентрации тестостерона в сыворотке крови.

**Выводы:** Длительное влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения от мобильного телефона (1745 МГц, 8 ч/сут фракциями по 30 мин с интервалом в 5 мин, ППЭ 0,2–20,0 мкВт/см<sup>2</sup>,  $\bar{x} = 7,5 \pm 0,3$  мкВт/см<sup>2</sup>) на организм крыс самцов и самок, приводит к снижению рождаемости облученных животных, которое достигает 45 % в 3-м поколении. Выявлены значительные изменения исследуемых показателей репродуктивной системы крыс-самцов трех поколений, что выражается в снижении количества эпидидимальных сперматозоидов в 1-м поколении и стимуляции спермиогенеза во 2-м и 3-м поколениях – раннее половое созревание, в падении их жизнеспособности и преимущественном снижении концентрации тестостерона в сыворотке крови.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, мобильные телефоны, крысы-самцы, репродуктивная система, рождаемость, масса органов, сперматогенез, эпидидимальные сперматозоиды, жизнеспособность, фрагментация ДНК (индекс DFI), тестостерон

Поступила: 25.01.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

### Введение

За последние два десятилетия мобильные телефоны получили всеобщее распространение, превратившись в один из наиболее значимых постоянных источников электромагнитного воздействия на человека, которые, обладая высокой биологической активностью, создают определенную угрозу для его здоровья. При разговоре аппарат прикладывается непосредственно к височной области и наружному уху и его излучение достигает слухового нерва, захватывая сетчатку глаза. Вследствие этого, в зависимости от продолжительности экспозиции, у пользователей выявляются те или иные отклонения в функционировании ЦНС [1, 2]. По мнению авторов работ [3, 4], при частом использовании мобильного телефона существенно повышает-

ся риск развития опухолей височной доли головного мозга и мозговой оболочки. Имеются данные о негативном влиянии излучения мобильного телефона на состояние крови, показателей иммунной, репродуктивной систем и т.д. [5–7]. В ряде исследований особое внимание обращается на высокую чувствительность развивающегося организма к этому виду излучения и, в связи с этим, на необходимость принятия мер к ограничению использования мобильных телефонов детьми и подростками [8].

Растущая за последние годы частота мужского бесплодия предполагает существенное влияние негативных факторов окружающей среды на состояние репродуктивной системы [9, 10]. В связи с этим необходимо учитывать все более возрастающую нагрузку на человека за счет многих средств современных коммуни-

каций в дециметровом диапазоне электромагнитного излучения (ЭМИ), в том числе широко распространенных стандартов сотовой связи (900 и 1800 МГц) и облучения WiFi (2450 МГц).

Поэтому особого внимания требует изучение последствий воздействия электромагнитного излучения мобильного телефона на потомство в ряду поколений, не только родившиеся от экспонированных родителей, но и постоянно подвергающиеся такому же воздействию на протяжении последующей жизни. Имеющиеся данные по этой проблеме носят неоднозначный и противоречивый характер. В некоторых исследованиях отмечается отсутствие значимых эффектов как при внутриутробном облучении, так и у потомства нескольких поколений [11, 12], в других работах убедительно показано выраженные нарушения у животных, которые подвергались электромагнитному воздействию на протяжении нескольких поколений, вплоть до возникновения у них стерильности на определенном этапе [13, 14].

В связи с вышеизложенным, представляет интерес изучить последствия электромагнитного воздействия у животных, подвергнутых длительной экспозиции от мобильного телефона нетепловой интенсивности на протяжении трех поколений.

Цель настоящей работы – оценка эффективности электромагнитного воздействия мобильного телефона стандарта GSM (1745 МГц, ППЭ 0,2–20 мкВт/см<sup>2</sup>,  $\bar{x}_{\text{ППЭ}} = 7,5 \pm 0,3$  мкВт/см<sup>2</sup>) на воспроизводство животных, массу тела, органов репродуктивной системы и ее состояние у крыс-самцов трех поколений (F<sub>1</sub>–F<sub>3</sub>), которые были получены от облученных родителей и продолжали подвергаться экспозиции в период эмбриогенеза и постнатального развития до достижения возраста 6 мес.

### Материал и методы

Исследования проводили на белых крысах стандартного разведения, которых в возрасте 52–54 сут подвергали экспозиции ЭМИ от мобильного телефона (1745 МГц). Животных облучали ежедневно, 8 ч/сут, фракциями по 30 мин с интервалом 5 мин. Облучение осуществляли на протяжении 90 сут. Затем облученных самцов (4) и самок (8) спаривали в соотношении 1:2. От самок в дальнейшем получали потомство 1-го поколения. Крыс-самок на протяжении всего периода беременности (20–21 сут) и вплоть до отъема животных и их потомство продолжали облучать при вышеуказанном режиме до достижения возраста 6 мес. От животных 1-го поколения (самок и самцов) таким же образом получали потомство 2-го и 3-го поколений.

Электромагнитное воздействие на животных в диапазоне мобильной связи (1745 МГц) осуществляли с помощью экспериментальной установки, изготовленной в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники (г. Минск). Источником электромагнитного излучения (ЭМИ) являлся мобильный телефон (МТ) распространенной марки, подключенный к компьютеру с сервисной программой WinTesla, позволяющей управлять его рабо-

той. Условия облучения животных: несущая частота 1745 МГц в режиме имитации разговора, т.е. близкое по своим характеристикам к МТ, воздействующему на пользователя стандарта GSM. Телефон размещался в центральной части рабочей зоны (1×0,7 м), в которой находились 4 пластиковые клетки с животными. Во время облучения осуществлялся дистанционный контроль наличия электромагнитного поля. Плотность потока электромагнитной энергии (ППЭ) в клетке измерялась прибором ПЗ-41 и находилась в пределах 0,2–20,0 мкВт/см<sup>2</sup>,  $\bar{x}_{\text{ППЭ}} = 7,5 \pm 0,3$  мкВт/см<sup>2</sup> (в зависимости от удаленности до антенны МТ).

У животных трех поколений в возрасте 1 мес определяли количество самцов и самок и массу их тела. При достижении крысами-самцами возраста 2, 4 и 6 мес их взвешивали и подвергали декапитации, выделяли семенники, эпидидимисы и семенные пузырьки, массу которых оценивали с последующим расчетом относительной массы выделенных органов. В суспензии тестикулярной ткани методом проточной цитофлуориметрии (цитофлуориметр Cytomics FC 500, Beckman Coulter, США) клеточные популяции сперматогенных клеток (по содержанию ДНК) были классифицированы как сперматогонии (2С), прелептотенные сперматоциты (сперматоциты в S-фазе), сперматоциты I порядка (4С), круглые (1С), удлинненные (НС1) и продолговатые сперматиды (НС2) [15].

В сыворотке крови измеряли концентрацию тестостерона иммуноферментным методом. Из эпидидимиса выделяли сперматозоиды, количество которых подсчитывали в камере Горяева [16], определяли их жизнеспособность [17], индекс DFI (фрагментация ДНК) [18].

Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами биологической статистики, используя пакеты программ Excel и GraphPadPrism 5. При сравнении двух независимых групп по количественному признаку использовали критерий Манна–Уитни. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

Установлено, что рождаемость у облученных животных (при расчете от 8 самок) в трех поколениях падает и составляет 53,6; 86,3 и 45,0 % соответственно в 1–3-м поколениях. Количество родившихся крысят 1-го поколения в контроле от 8 самок составило 69, из них 31 самцов и 38 самок. От 8 облученных самок, которые спаривались с облученными самцами, получено 37 животных, в том числе 18 самцов и 19 самок. Однако в этом случае потомство дали только 6 самок, а от двух самок этой группы приплода не получено. Средняя численность помета на одну рожавшую самку в контрольной группе составляла  $8,6 \pm 0,8$ , в то время как в опытной – всего 6,2 ( $p < 0,05$ ), что по отношению к контролю составляло всего 71,5 % (табл. 1).

В поколении F<sub>2</sub> среднее количество крысят от одной экспонированной самки составляло  $8,6 \pm 0,6$  – рождаемость 86,3 %, а в третьем (F<sub>3</sub>) –  $7,5 \pm 0,6$  ( $p < 0,05$ ), т.е. в последнем случае, рождаемость по отношению к контролю от родивших самок составила 60,0 %.

Таблица 1

**Влияние электромагнитного излучения от мобильного телефона на репродуктивную функцию – распределения по полу и массе тела животных в ряду поколений F<sub>1</sub>-F<sub>3</sub>**

Группы животных	Число самок	Число родивших самок	Количество родившихся животных	Рождаемость, % к контролю (на 8 самок)	Среднее количество детенышей на самку	Рождаемость, % к контролю от родивших самок	Распределение по полу		Масса тела, г в возрасте 1 месяц	
							♂♂	♀♀	♂♂	♀♀
F <sub>1</sub>										
Контроль	8	8	69	100,0	8,6±0,8	100,0	31	38	70,5±2,1	66,6±1,3
ЭМИ	8	6	37	53,6	6,2±0,6*	71,5	18	19	74,3±2,1	70,5±2,4
F <sub>2</sub>										
Контроль	8	8	80	100,0	10,0±0,7	100,0	40	40	62,6±2,8	63,7±2,4
ЭМИ	8	8	69	86,3	8,6±0,6	86,3	38	31	67,5±2,1	61,4±2,7
F <sub>3</sub>										
Контроль	8	8	100	100,0	12,5±0,8	100,0	46	54	53,7±2,0	53,4±2,0
ЭМИ	8	6	45#	45,0	7,5±0,6*	60,0	18	18	71,1±3,9*	68,8±3,9*

Примечание: # – 9 детенышей умерло до месячного возраста; \* – достоверно при p < 0,05

Масса тела облученных самцов трех поколений в возрасте 1 мес имеет тенденцию к повышению по сравнению с контролем, в то время как у самок она выявлялась только у животных 1-го и 3-го поколений. Более значительное превышение массы тела экспериментальных животных, по сравнению с контрольными, наблюдается в третьем поколении и имеет статистически значимый характер для животных обоих полов.

Масса тела крыс-самцов трех поколений в возрасте 2, 4 и 6 мес также в основном превышает таковую у интактных животных соответствующего возраста, за исключением массы тела 2-месячных крыс поколений F<sub>2</sub> и F<sub>3</sub>.

Таким образом, низкоинтенсивное нетепловое электромагнитное облучение в пренатальном периоде оказывало негативное влияние на воспроизводство животных, вплоть до возникновения у некоторых из родителей (самцов и самок) стерильности, однако масса тела крыс-самцов в возрасте 1 мес превышала аналогичный показатель от контроля на 5,3 % в 1-м поколении до 32,4 % в 3-м поколении (p < 0,05).

Электромагнитное воздействие оказывало влияние на массу семенников и эпидидимисов крыс трех поколений преимущественно в возрасте 4 и 6 мес (табл. 2). Следует отметить повышение массы семенников у животных всех трех поколений в возрасте 4 мес и у животных 3-го поколения в возрасте 6 мес.

Таблица 2

**Влияние электромагнитного излучения от мобильного телефона на массу тела и органов репродуктивной системы крыс в ряду поколений F<sub>1</sub>-F<sub>3</sub> в возрасте 2, 4 и 6 мес**

Массовые показатели	F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>		F <sub>3</sub>	
	Контроль	ЭМИ	Контроль	ЭМИ	Контроль	ЭМИ
Возраст животных 2 мес						
Масса тела	206,7±7,9	197,8±5,4	218,2±14,0	198,5±8,0	196,4±7,6	201,4±16,6
АМС, г	1,28±0,05	1,24±0,04	1,30±0,07	1,21±0,06	1,17±0,08	1,26±0,10
ОМС, %	0,62±0,02	0,626±0,009	0,60±0,04	0,61±0,01	0,59±0,03	0,63±0,03
АМЭ, г	0,22±0,01	0,20±0,002	0,205±0,020	0,176±0,015	0,18±0,01	0,20±0,01
ОМЭ, %	0,108±0,003	0,101±0,003	0,095±0,008	0,088±0,006	0,10±0,01	0,098±0,004
АМСП, г	0,48±0,03	0,35±0,04*	0,322±0,052	0,295±0,070	0,33±0,05	0,28±0,06
ОМСП, %	0,23±0,01	0,17±0,02*	0,15±0,03	0,146±0,028	0,17±0,02	0,13±0,02
Возраст животных 4 мес						
Масса тела	318,7±8,9	325,3±7,2	342,7±7,8	366,5±14,6	339,0±11,8	356,8±29,0
АМС, г	1,44±0,02	1,57±0,03*	1,49±0,03	1,71±0,03*	1,34±0,06	1,50±0,07
ОМС, %	0,45±0,01	0,48±0,01	0,44±0,01	0,47±0,02	0,40±0,01	0,42±0,01
АМЭ, г	0,46±0,01	0,50±0,01*	0,46±0,01	0,50±0,01*	0,43±0,02	0,48±0,02
ОМЭ, %	0,15±0,01	0,15±0,001	0,13±0,003	0,14±0,01	0,13±0,003	0,14±0,01
АМСП, г	0,98±0,12	1,08±0,05	1,25±0,06	1,23±0,06	1,21±0,09	1,19±0,09
ОМСП, %	0,31±0,05	0,34±0,01	0,37±0,02	0,34±0,01	0,36±0,03	0,34±0,04
Возраст животных 6 мес						
Масса тела	406,0±9,73	408,8±11,3	386,4±11,3	394,0±10,5	377,4±13,3	406,0±20,6
АМС, г	1,66±0,032	1,56±0,09	1,59±0,06	1,62±0,07	1,44±0,05	1,65±0,06*
ОМС, %	0,41±0,02	0,39±0,03	0,41±0,01	0,41±0,01	0,38±0,02	0,41±0,01
АМЭ, г	0,54±0,01	0,49±0,02*	0,54±0,02	0,51±0,02	0,48±0,02	0,53±0,01*
ОМЭ, %	0,13±0,003	0,12±0,01	0,14±0,001	0,13±0,003*	0,13±0,004	0,13±0,004
АМСП, г	1,39±0,08	1,43±0,07	1,26±0,05	1,34±0,03	1,01±0,12	1,21±0,08
ОМСП, %	0,34±0,02	0,37±0,02	0,33±0,01	0,34±0,003	0,26±0,02	0,30±0,02

Примечание: АМС, АМЭ и АМСП – абсолютная масса семенников, эпидидимисов и семенных пузырьков; ОМС, ОМЭ и ОМСП – относительная масса семенников, эпидидимисов и семенных пузырьков; \* – достоверно при p < 0,05

Масса эпидидимисов в основном имеет тенденцию к увеличению у 4-месячных животных  $F_1$ - $F_3$ , однако в возрасте 6 мес у 1-го поколения животных выявляется его падение, которое коррелирует с уменьшением числа эпидидимальных сперматозоидов. Следует также отметить падение абсолютной и относительной массы семенных пузырьков у облученных животных 2-месячного возраста трех поколений, имеющее достоверный характер в поколении  $F_1$ .

Количество сперматогенных клеток различных популяций экспериментальных крыс-самцов в возрасте 2 мес 1-го поколения несущественно отличается от контрольных значений, за исключением тенденции к повышению числа продолговатых сперматид (табл. 3). Однако в возрасте 4 мес наблюдаются статистически значимое снижение количества прелептотенных сперматоцитов и удлинённых сперматид и повышение количества сперматоцитов 1-го порядка, в то время как у 6-месячных крыс выявляется падение числа сперматогоний (-14,5 %), удлинённых сперматид (-22,7 %) и заметный рост округлых сперматид (+28,7 %). Следовательно, можно заключить, что диспропорция клеточного состава популяций сперматогенных клеток, прежде всего, затрагивает конечный этап сперматогенеза – трансформацию сперматид.

У экспонированных крыс-самцов 2-го и 3-го поколений количественный состав сперматогенных клеток различных этапов дифференцировки в возрасте 2 мес, так же как и в 1-ом поколении, изменяется несущественно, а в возрасте 4 и 6 мес имеются заметные нарушения отдельных этапов дифференцировки исследуемых клеток. Наиболее значительные отклонения от контрольных значений выявляются у 2-го поколения, имеющие разнонаправленный характер в возрасте

4 мес и 6 мес на стадиях трансформации сперматид, а у 3-го поколения в возрасте 4 мес отмечается достоверное повышение количества сперматоцитов 1-го порядка и падение числа удлинённых сперматид, в то время как в возрасте 6 мес выявляется заметное снижение перелептотенных сперматоцитов и также удлинённых сперматид ( $p < 0,05$ ).

При анализе продукции сперматогенеза у облученных животных по количеству сперматозоидов, выделенных из эпидидимиса, отмечается достоверное снижение их числа у животных 2- и 6-месячного возраста 1-го поколения, более значительное для первых (рис. 1а). Напротив, у животных 2-го и 3-го поколений, подвергнутых постоянному электромагнитному воздействию излучения от мобильного телефона, в этом же возрасте наблюдается выраженное повышение количества зрелых половых клеток (соответственно в 1,66 и 2,67 раза по сравнению с контролем). В то же время их число у 1-3 поколений в возрасте 4 и 6 мес несущественно отличалось от таковых в контрольной группе за исключением их некоторого уменьшения у животных 1-го поколения в возрасте 6 мес.

Жизнеспособность эпидидимальных сперматозоидов у экспонированных крыс-самцов трех исследуемых поколений практически снижается во всех возрастных группах (2, 4 и 6 мес), однако она носит статистически значимый характер в возрасте 2 мес, а также у животных 1-го поколения в возрасте 4 мес (81,7 % к контролю) (рис. 1б).

Данные о фрагментации ДНК в сперматозоидах облученных животных (индекс DFI) показывают в основном отсутствие существенных отклонений этого показателя от контрольного уровня, что вероятно указывает на недостаточную поглощенную энергию

Таблица 3

**Влияние электромагнитного излучения от мобильного телефона на количественный состав сперматогенных клеток в тестикулярной ткани крыс в ряду поколений  $F_1$  –  $F_3$  в возрасте 2, 4 и 6 мес, %**

Сперматогенные клетки	$F_1$		$F_2$		$F_3$	
	Контроль	ЭМИ	Контроль	ЭМИ	Контроль	ЭМИ
Возраст животных 2 мес						
2С	13,73±0,84	14,04±0,62	8,37±0,51	7,80±0,10	10,78±0,55	9,85±1,06
S-phasa	3,87±0,13	3,71±0,30	2,60±0,31	2,65±0,09	5,05±0,49	3,78±0,46
4С	8,69±0,35	8,18±0,25	5,83±0,56	5,66±0,64	7,89±1,38	6,51±1,48
1С	56,82±0,67	55,30±0,63	39,28±1,14	41,00±0,77	39,68±1,01	40,47±0,96
HC1	13,07±0,71	14,03±0,89	15,88±1,35	13,32±0,68	17,18±1,87	17,19±1,88
HC2	3,03±0,25	3,76±0,52	27,60±2,83	29,20±1,51	18,42±1,22	21,69±2,39
Возраст животных 4 мес						
2С	9,85±0,27	9,59±0,45	6,55±0,17	6,81±0,11	6,35±0,54	6,58±0,13
S-phasa	3,61±0,07	3,34±0,10*	1,95±0,17	2,07±0,09	2,47±0,09	2,46±0,05
4С	5,28±0,46	6,65±0,43*	2,98±0,26	3,27±0,53	3,81±0,34	5,17±0,45*
1С	44,17±1,04	46,77±1,07	32,14±1,52	33,12±0,54	33,81±1,49	35,69±1,16
HC1	23,66±1,01	19,61±1,21*	21,10±1,73	14,63±1,41*	27,56±1,84	21,05±1,05*
HC2	13,59±0,54	13,15±1,25	34,74±0,65	39,84±1,16*	25,27±2,11	27,11±1,22
Возраст животных 6 мес						
2С	8,29±0,32	7,08±0,44*	8,32±0,35	8,96±0,30	8,22±0,36	7,84±0,59
S-phasa	1,96±0,08	1,91±0,11	2,30±0,19	2,64±0,06	2,49±0,17	1,89±0,17*
4С	4,42±0,19	4,59±0,26	6,55±0,37	6,39±0,16	5,16±0,41	4,85±0,13
1С	26,39±1,28	33,95±1,08*	35,02±1,63	41,36±0,98*	40,12±0,99	36,35±2,67
HC1	30,99±1,41	23,96±2,90*	15,67±1,31	15,45±1,11	15,12±0,44	13,03±0,67*
HC2	26,86±1,51	27,91±2,17	31,45±1,60	24,89±1,24*	28,50±0,56	35,51±3,85

Примечание: 2С – сперматогонии; S-phasa – сперматоциты в прелептотене; 4С – сперматоциты I порядка, 1С, HC1 и HC2 – круглые, удлинённые и продолговатые сперматиды; \* – достоверно при  $p < 0,05$



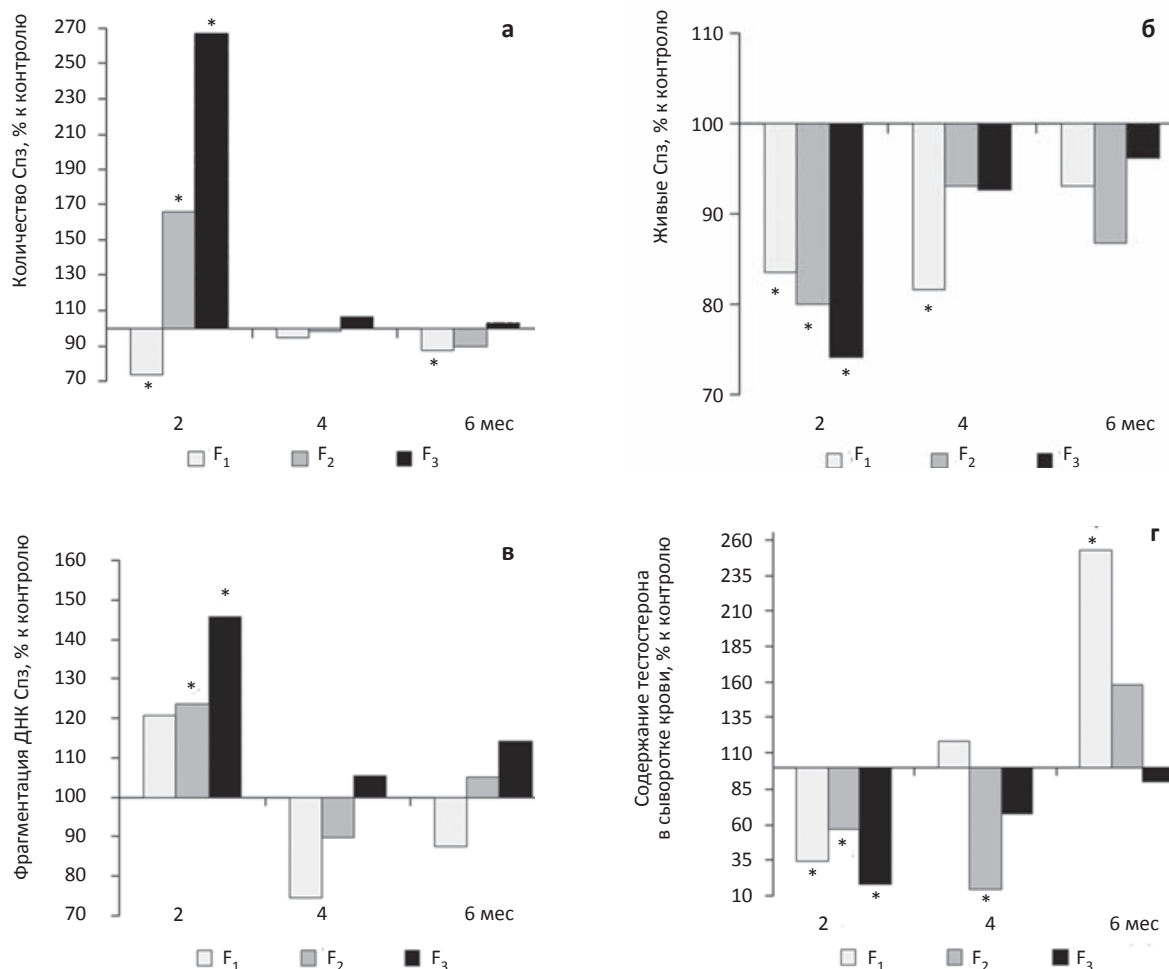


Рис. Влияние электромагнитного излучения от мобильного телефона на количество (а), жизнеспособность (б), фрагментацию ДНК (индекс DFI) (в) эпидидимальных сперматозоидов (Спз) и концентрацию тестостерона в сыворотке крови (г) самцов-крыс в ряду поколений F<sub>1</sub>-F<sub>3</sub> в возрасте 2, 4 и 6 мес

ЭМИ, чтобы вызвать нарушения в структуре ДНК в этих клетках. Тем не менее, у 2-месячных животных 2-го и 3-го поколений выявляется достоверное повышение индекса DFI на 23,6 и 45,9 %. Кроме того, следует отметить, что его значение как у контрольных, так и у экспериментальных животных указывает на определенный спонтанный уровень фрагментации ДНК в сперматозоидах, который, по-видимому, вызван влиянием различных внешних и внутренних факторов (рис. 1в).

Выявлено статистически значимое снижение концентрации тестостерона в сыворотке крови у экспонированных животных в возрасте 2 мес у 1–3-го поколений и у 4-месячных второго поколения на 65,8, 43,6, 82,8 и 93,4 % по сравнению с группой необлученных животных (рис. 1г). Данное снижение андрогенного статуса, по-видимому, связано с нарушением гормон-секретирующей функцией клеток Лейдига, что подтверждается в работе M. Sayginetal et al (2011), которые зафиксировали снижение количества клеток Лейдига у самцов крыс после 28-дневной экспозиции ЭМИ с частотой 2,45 ГГц [19].

Тем не менее, необходимо отметить статистически значимое увеличение содержания тестостерона у животных 1-го поколения в возрасте 6 мес на 152,82 %, что говорит о потенцировании процессов в гипоталамо-гипофизарной системе.

что говорит о потенцировании процессов в гипоталамо-гипофизарной системе.

В ряде исследований, посвященных изучению воздействия электромагнитной экспозиции дециметрового диапазона на потомство, выявляются сокращение общей численности потомства и их выживаемости, возникновение стерильности и различные нарушения репродуктивной функции [13, 14, 20, 21].

Анализ популяции белых аистов (*Ciconia ciconia*), расположенных вблизи ЭМП базовых станций сотовых телефонов (900–1800 МГц) показал, что общая продуктивность гнезд на расстоянии 200 м от антенны была 0,86±0,16. Этот же показатель на расстоянии более чем на 300 м практически удваивается, составляя в среднем 1,60±0,14. В местах гнездования, расположенных на расстоянии 100 м от антенны, погибло много птенцов. Полученные данные объективно указывают на вероятность того, что ЭМИ наносит ущерб репродукции птиц [22].

Пренатальное облучение крыс Sprague-Dawley (900 МГц, ППЭ 0,265 Вт/м<sup>2</sup>, 1 ч/сут на протяжении 13–21 сут беременности) вызывало у 21-дневных родившихся животных нарушения структуры ткани семенника по сравнению с контролем. Диаметр извитых семенных канальцев и толщина сперматогенного эпителия

существенно снижались. Интенсивность апоптоза и нарушения структуры ДНК значительно повышаются у животных в облученной группе, при отсутствии различий в массе семенников [23]. У крыс-самцов 1-го поколения, полученного от облученных родителей при 897 МГц (8 ч/сут), выявляется значительное снижение жизнеспособности эпидидимальных сперматозоидов [24].

Необходимо также отметить, что в некоторых исследованиях негативных эффектов у крыс-самцов, которые подвергались пренатальному облучению или электромагнитному воздействию в диапазоне мобильной связи либо от оборудования WiFi, в ряду поколений не было обнаружено [11, 12, 25, 26]. Во многих случаях это, вероятно, обусловлено кратковременностью экспозиции животных.

Таким образом, анализ литературы и полученные данные свидетельствуют о том, что длительное электромагнитное облучение от мобильного телефона стандарта GSM нетепловой интенсивности на крыс-самцов трех поколений ( $F_1$ – $F_3$ ), которые были получены от облученных родителей, приводит к значительному падению рождаемости облученных самок и нарушениям, возникающим в отдельных звеньях репродуктивной системы крыс-самцов в возрасте 2, 4 и 6 мес. В большей степени они проявляются в диспропорции клеточного состава на заключительном этапе сперматогенеза (сперматиды различных этапов трансформации) а также на снижении количества эпидидимальных сперматозоидах их жизнеспособности и повышении частоты программированной гибели клеток. Следовательно, длительная электромагнитная низкоинтенсивная (нетепловая) экспозиция от мобильного телефона значительно повышает риск неблагоприятного воздействия на репродуктивную систему самцов в период его пренатального и постнатального развития.

### Выводы

1. Установлено, что длительная электромагнитная экспозиция (1745 МГц, 8 ч/сут при ППЭ 0,2–20 мкВт/см<sup>2</sup>,  $\bar{x}_{\text{ППЭ}} = 7,5 \pm 0,3$  мкВт/см<sup>2</sup>) приводит к существенно-му падению рождаемости животных по сравнению с таковым у контроля. Рождаемость у облученных самок (при расчете от 8 животных) в трех поколениях составляет в 1–3-м поколениях соответственно 53,6; 86,3 и 45,0 %.

2. Показано, что длительное излучение мобильного телефона стандарта GSM оказывает существенное влияние на заключительный этап процесса сперматогенеза, вызывая значительные диспропорции количества сперматид различных типов у крыс самцов  $F_1$ – $F_3$  в возрасте 2, 4 и 6 мес.

3. У облученных самцов трех поколений в возрасте 2, 4 и 6 мес выявляются значительные изменения количества эпидидимальных сперматозоидов, жизнеспособность которых преимущественно падает, а также наблюдается снижение концентрации тестостерона в сыворотке крови.

4. Длительная электромагнитная экспозиция от мобильного телефона неблагоприятно влияет на репродуктивную систему самцов в ряду поколений при пренатальном и постнатальном развитии организма.

5. Полученные данные подтверждают высокую эффективность длительного электромагнитного воздействия низкой интенсивности (нетепловое действие) от мобильного телефона на состояние репродуктивной системы крыс-самцов трех поколений, полученных от облученных родителей.

6. Суммируя результаты представленных исследований, считаем возможным заключить, что развивающаяся репродуктивная система самцов является одной из наиболее чувствительных систем организма при действии электромагнитного излучения в диапазоне мобильной связи, наряду с когнитивными функциями и высоким риском возникновения опухолей мозга в облученном организме.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности. – М.: Экономика. 2016. 574 с.
2. Salford L.G., Brun A.E., Eberhardt J.L. et al. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones // *Environ. Health Perspect.* 2003. Vol. 111. P. 881–883. DOI: 10.1289/ehp.6039.
3. Hardell L., Carlberg M. Mobile phones, cordless phones and the risk of brain tumours // *Int. J. Oncol.* 2009. Vol. 35. № 1. P. 5–17. DOI: 10.1093/ije/dyq079.
4. Cardis E., Deltour I., Vrijheid M. et al. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study // *Int. J. Epidemiol.* 2010. Vol. 39. № 3. P. 675–694.
5. Якименко И.Л., Сидорик Е.П., Цибулин О.С. Метаболические изменения в клетках при действии электромагнитного облучения систем мобильной связи // *Укр. біохім. журн.* 2011. Т. 83. № 2. С. 20–28.
6. Пряхин Е.А. Адаптационные реакции на субклеточном, клеточном, системном и организменном уровнях при воздействии электромагнитных полей. – Челябинск. Автореф. дисс. докт. биол. наук. 2007. 51 с.
7. Григорьев Ю.Г. Электромагнитные поля сотовых телефонов и здоровье детей и подростков (Ситуация, требующая принятия неотложных мер) // *Радиация, биология. Радиоэкология.* 2005. Т. 45. № 4. С. 442–450.
8. Верещако Г.Г. Влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов на состояние мужской репродуктивной системы и потомство. – Минск: Беларуская навука. 2015. 186 с.
9. Галимова Э.Ф., Фархутдинов Р.Р., Галимов Ш.Н. Влияние экстремальных факторов на мужскую репродуктивную систему // *Пробл. репродукции.* 2010. № 4. С. 60–66.
10. Николаев А.А., Логинов П.В. Показатели сперматогенеза мужчин, подверженных воздействию неблагоприятных условий среды // *Урология.* 2015. № 5. С. 60–65.
11. Gathiram, P., Kistnasamy B., Laloo U. Effects of a unique electromagnetic field system on the fertility of rats // *Arch. Environ. Occup. Health.* 2009. Vol. 64. № 2. P. 93–100.
12. Sommer A.M., Grote K., Reinhardt T. et al. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multi-generation study // *Radiat. Res.* 2009. Vol. 171. № 1. P. 89–95. DOI: 10.1667/RR1460.1.
13. Magras I.N., Xenos T.D. RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice // *Bioelectromagnetics.* 1997. Vol. 18. P. 455–461.

14. Шибкова Д.З., Шилкова Т.В., Овчинникова А.В. Ранние и отдаленные эффекты влияния электромагнитного поля радиочастотного диапазона на репродуктивную функцию и морфофункциональное состояние потомства экспериментальных животных // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 5. С. 514.
15. Suresh R., Aravindan G.R., Moudgal N.R. Quantitation of spermatogenesis by DNA flow cytometry: Comparative study among six species of mammals // J. Biosci. 1992. Vol. 17. № 4. P. 413–419.
16. Евдокимов В.В., Коденцова В.М., Вржесинская О.А. и соавт. Влияние радиационного облучения на витаминный статус и сперматогенез крыс // Бюл. эксп. биол. и мед. 1997. Т. 123. № 5. С. 524–527.
17. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen – 5th ed. Geneva: WHO. 2010. 271 pp.
18. Evenson D.P., Larson K.L., Jost L.K. Sperm chromatin structure assay: its clinical use for detecting sperm DNA fragmentation in male infertility and comparisons with other techniques // Andrology. 2002. Vol. 23. № 1. P. 25–43.
19. Saygin M., Caliskan S., Karahan N. et al. Testicular apoptosis and histopathological changes induced by a 2.45 GHz electromagnetic field // Toxicol. Ind. Health. 2011. Vol. 27. № 5. P. 455–463. DOI: 10.1177/0748233710389851.
20. Kesari K.K., Behari J. Evidence for mobile phone radiation exposure effects on reproductive pattern of male rats: role of ROS // Electromagn. Biol. Med. 2012. Vol. 31. № 3. P. 213–222. DOI: 10.3109/15368378.2012.700292.
21. Ma H.R., Li Y.Y., Luo Y.P. et al. Effect of Guilingji capsule on the fertility, liver functions, and serum LDH of male SD rats exposed by 900 MHz cell phone // Zhong Guo Zhong Xi Yi Jie He, Za Zhi. 2014. Vol. 34. № 4. P. 475–479.
22. Balmori A. Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*) // Electromagn. Biol. Med. 2005. Vol. 24. P. 109–119. DOI: 10.1080/15368370500205472.
23. Нанси Н., Одаси Е., Кая Н. The effect of prenatal exposure to 900 MHz electromagnetic field on the 21-old-day rat testicle // Reprod. Toxicol. 2013. Vol. 42. P. 203–209. DOI: 10.1016/j.reprotox.2013.09.006.
24. Верещако Г.Г., Чуешова Н.В., Горох Г.А., Наумов А.Д. Состояние репродуктивной системы крыс-самцов 1-го поколения, полученных от облученных родителей и подвергнутых воздействию ЭМИ (897 МГц) в период эмбриогенеза и постнатального развития // Радиационная биология. Радиоэкология. 2014. Т. 54. № 2. С. 186–192.
25. Takahashi S., Imai N., Nabae K. et al. Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus // Radiat. Res. 2010. Vol. 173. № 3. P. 62–72. DOI: 10.1667/RR1615.1.
26. Poulletier de Gannes F., Haro E., Hurtier A. et al. Effect of *in utero* Wi-Fi exposure on the pre- and postnatal development of rats // Birth Defects Res. B. Dev. Reprod. Toxicol. 2012. Vol. 95. № 2. P. 130–136. DOI: 10.1002/bdrb.20346.

**Для цитирования:** Григорьев Ю.Г., Чуешова Н.В., Верещако Г.Г. Состояние репродуктивной системы крыс-самцов в ряду поколений, полученных от облученных родителей и подвергнутых электромагнитному воздействию от мобильного телефона // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 33–40.  
DOI: 10.12737/article\_5bc89628800007.23290426

## Reproductive System State among Generations of Male Rats, Obtained from Irradiated Parents and Subjected to Electromagnetic Interference from Mobile Phone (1745 MHz)

Yu.G. Grigoriev<sup>1</sup>, N.V. Chueshova<sup>2</sup>, G.G. Vereschako<sup>2</sup>

1. A.I. Burnasyan Federal Medical and Biophysical Centre, Moscow, Russian Federation;

2. Institute of Radiobiology of NAS of Belarus, Gomel, Belarus. E-mail: natalya-chueshova@tut.by

Yu.G. Grigoriev – Leading Researcher, Dr. Sc. Med., Prof., Deputy Chairman of the Scientific Council on Radiobiology of RAS, Vice-President of the Russian National Committee on Protection from Non-Ionizing Radiation, Member of the WHO Advisory Committee on the International Program “EMF and Public Health”; N.V. Chueshova – Researcher; G.G. Vereschako – Leading Researcher, PhD Biol.

### Abstract

**Purpose:** To study the condition of the reproductive system of the male rats at three generations ( $F_1$ – $F_3$ ) received from irradiated parents and who were exposed daily to the mobile phone (1745 MHz, 8 hours/day) until reaching the age of 6 months.

**Material and methods:** The white rats aged 52–54 days were subjected to electromagnetic exposure from the mobile phone (1745 MHz, 8 hours/day, power density 0.2–20  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ,  $\bar{x} = 7.5 \pm 0.3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) for 90 days. The irradiated males and females were then mated in a 1:2 ratio. The females throughout the gestation period (20–21 days) and the offspring ( $F_1$ ) obtained from them continued to be irradiated under the above-mentioned regimen until reaching the age of 6 months. The animals of the 1st generation (males and females) at the age of 4 months mated for the generation of the second generation, and from them in the same way received the offspring of the third generation. The state of the reproductive system of male rats of 3 generations was evaluated at the age of 2, 4 and 6 months.

**Results:** It is established that birth rate at the irradiated animals of three generations authentically falls. This posterity from 8 females makes 53, 86 and 45 % respectively in the 1st, 2nd and 3rd generation of the control group.

The electromagnetic effect affected the weight of the testicles and epididymis of rats of three generations, mainly at the age of 4 and 6 months. The mass of testicles increased at animals of the 3 generation at the age of 4 months and at animals of the 3rd generation at the age of 6 months. The mass of epididymis generally increases at animals of 4 months of the  $F_1$ – $F_3$ , but at the age of 6 months in the 1st generation falls, and correlates with a decrease in the number of epididymal spermatozoa. There is also a decrease in the absolute and relative mass of seminal vesicles in irradiated animals of three generations at the age of 2 months.

At exposed animals of 3 generations of 2 months there are no significant deviations in the process of spermatogenesis, however at the age of 4 and 6 months there are significant violations of the number of spermatids of different types. In male rats of the 1st



generation at the age of 2 and 6 months exposed to EMP in the prenatal and postnatal periods and obtained from irradiated parents, a drop in the number of epididymal spermatozoa is observed, while in the irradiated animals of the 2nd and 3rd generation at the age of 2 months, there is a marked increase in the number of these cells. Their viability is reduced in all age groups (2, 4 and 6 months), which is statistically significant at the age of 2 and 4 months of animals of the 1st generation. In male rats of 1–3 generations at the age of 2 months and in 4 months 2nd generation, there was a significant decreased the concentration of testosterone in the blood serum by 65.8, 43.6, 82.8 and 93.4 %, respectively.

**Conclusions:** The long-term effect of low-intensity electromagnetic radiation from the mobile phone on the body of rats of males and females, leads to a decrease in the birth rate of irradiated animals, which reaches 45 % in the third generation. Significant changes in the studied indicators of the reproductive system of male rats of three generations are revealed, which is reflected in a decrease in the number of epididymal spermatozoa in the 1st generation and in a significant increase in the 2nd and 3rd generation – early puberty, in the fall of their viability and the predominant decrease in the concentration of testosterone in the blood serum.

**Key words:** *electromagnetic radiation, mobile phones, male rats, reproductive system, birth rate, organ weight, spermatogenesis, epididymal spermatozoa, viability, fragmentation of DNA (index DFI), testosterone*

## REFERENCES

1. Grigoriev YuG, Grigoriev OA. Cellular communication and health: electromagnetic environment, radiobiological and hygienic problems, hazard prediction. Moscow: Ekonomiks; 2016. 574 p. Russian.
2. Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, et al. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ Health Perspect.* 2003;111:881-3. DOI: 10.1289/ehp.6039.
3. Hardell L, Carlberg M. Mobile phones, cordless phones and the risk of brain tumours. *Int J Oncol.* 2009;35(1):5-17. DOI: 10.1093/ije/dyq079.
4. Cardis E, Deltour I, Vrijheid M, et al. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol.* 2010; 39(3):675-94.
5. Jakimenko IL, Sidorik EP, Cibulin OS. Metabolic changes in cells under the action of electromagnetic irradiation of mobile communication systems. *Ukrainskij biokhimicheskij zhurnal.* 2011;83(2):20-8. Russian.
6. Priakhin EA. Adaptive reactions at subcellular, cellular, systemic and organismal levels under the influence of electromagnetic fields. Cheliabinsk: Avtoref. diss. 2007. 51 p. Russian.
7. Grigoriev YuG. Electromagnetic fields of cell phones and health of children and adolescents (Situation requiring urgent measures). *Radiation biology. Radioecology.* 2005;45(4):442-50. Russian.
8. Vereshhako GG. Influence of electromagnetic radiation of mobile phones on the state of male reproductive system and offspring. Minsk: Belaruskaya navuka; 2015. 186 p. Russian.
9. Galimova JeF, Farhutdinov RR, Galimov ShN. The influence of extreme factors on the male reproductive system. *Problemy reprodukci.* 2010;(4):60-6. Russian.
10. Nikolaev AA, Loginov PV. Indicators of spermatogenesis of men exposed to adverse environmental conditions. *Urologija.* 2015;(5):60-5. Russian.
11. Gathiram P, Kistnasamy B, Laloo U. Effects of a unique electromagnetic field system on the fertility of rats. *Arch Environ Occup Health.* 2009;64(2):93-100.
12. Sommer AM, Grote K, Reinhardt T, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: a multi-generation study. *Radiat Res.* 2009;171(1):89-95. DOI: 10.1667/RR1460.1.
13. Magras IN, Xenos TD. RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics.* 1997;18:455-61.
14. Shibkova DZ, Shilkova TV, Ovchinnikova AV. Early and long-term effects of radio-frequency electromagnetic field influence on reproductive function and morphofunctional state of offspring of experimental animals. *Radiation biology. Radioecology.* 2015; 55(5):514. Russian.
15. Suresh R, Aravindan GR, Moudgal NR. Quantitation of spermatogenesis by DNA flow cytometry: Comparative study among six species of mammals. *J. Biosci.* 1992;17(4):413-19.
16. Evdokimov VV, Kodentsova VM, Vrzhesinskaja OA, et al. Influence of radiation exposure on vitamin status and spermatogenesis of rats. *Bulletin of experimental biology and medicine.* 1997;123(5):524-7. Russian.
17. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen – 5th ed. Geneva: WHO; 2010. 271 p.
18. Evenson DP, Larson KL, Jost LK. Sperm chromatin structure assay: its clinical use for detecting sperm DNA fragmentation in male infertility and comparisons with other techniques. *Andrology.* 2002;23(1):25-43.
19. Saygin M, Caliskan S, Karahan N, et al. Testicular apoptosis and histopathological changes induced by a 2.45 GHz electromagnetic field. *Toxicol. Ind. Health.* 2011;27(5):455-63. DOI: 10.1177/0748233710389851.
20. Kesari KK, Behari J. Evidence for mobile phone radiation exposure effects on reproductive pattern of male rats: role of ROS. *Electromagn Biol Med.* 2012;31(3):213-22. DOI: 10.3109/15368378.2012.700292.
21. Ma HR, Li YY, Luo YP, et al. Effect of Gulingji capsule on the fertility, liver functions, and serum LDH of male SD rats exposed by 900 MHz cell phone. *Zhongguo Zhong Xi Yi Jie He Za Zhi.* 2014;34(4):475-9.
22. Balmori A. Possible Effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagn Biol Med.* 2005;24:109-19. DOI: 10.1080/15368370500205472.
23. Hanci H, Odacı E, Kaya H. The effect of prenatal exposure to 900-MHz electromagnetic field on the 21-old-day rat testicle. *Reprod Toxicol.* 2013; 42:203-9. DOI: 10.1016/j.reprotox.2013.09.006.
24. Vereshchako GG, Chueshova NV, Gorokh GA, Naumov AD. State of reproductive system of male rats of the 1st generation received from irradiated parents and exposed to EMR (897 MHz) during embryogenesis and postnatal development. *Radiation biology. Radioecology.* 2014;54(2):186-92. Russian.
25. Takahashi S, Imai N, Nabae K, et al. Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. *Radiat Res.* 2010;173(3):62-72. DOI: 10.1667/RR1615.1.
26. Poullietier de Gannes F, Haro E, Hurtier A, et al. Effect of *in utero* Wi-Fi exposure on the pre- and postnatal development of rats. *Birth Defects Res. B. Dev. Reprod Toxicol.* 2012;95(2):130-6. DOI: 10.1002/bdrb.20346.

**For citation:** Grigoriev YuG, Chueshova NV, Vereschako GG. Reproductive System State among Generations of Male Rats, Obtained from Irradiated Parents and Subjected to Electromagnetic Interference from Mobile Phone. *Medical Radiology and Radiation Safety.* 2018;63(5):33-40. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc89628800007.23290426



**В.А. Лисин****ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНАЯ МОДЕЛЬ В ПЛАНИРОВАНИИ НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ  
НА ЦИКЛОТРОНЕ У-120**

Научно-исследовательский институт онкологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН, Томск, Россия. E-mail: lisin@oncology.tomsk.ru

В.А. Лисин – д.т.н., профессор

**Реферат**

**Цель:** Рассмотреть возможность применения линейно-квадратичной модели (ЛКМ) для планирования режимов облучения в дистанционной терапии злокачественных опухолей быстрыми нейтронами на циклотроне У-120 по критерию ранних лучевых реакций.

**Материал и методы:** Для решения поставленной задачи применена ЛКМ, описывающая реакцию тканей на фракционированное облучение. Для оценки степени корректности полученных результатов проведено их сравнение с аналогичными результатами, найденными на основе модели время–доза–фракция (ВДФ), успешно применяемой для планирования нейтронной терапии.

**Результаты:** Найденны параметры ЛКМ  $\alpha_n$  и  $\beta_n$  для кожи в случае облучения ее нейтронами. С применением найденных параметров получена зависимость однократной дозы нейтронов от числа сеансов терапии для базовой длительности курса. Зависимость хорошо совпадает с аналогичной зависимостью, найденной по модели ВДФ, что указывает на корректность способа ее расчета. При использовании ЛКМ для планирования нейтронной терапии рассмотрен вопрос, связанный с учетом временных интервалов между сеансами. С этой целью для реальных курсов проведено сравнение суммарного эффекта, определяемого по ЛКМ, и фактора ВДФ. Различие между сравниваемыми величинами не превышает 6 %, что позволяет исключить необходимость учета временного интервала при планировании режима нейтронной терапии по ЛКМ.

Рассмотрены два способа контроля степени поражения нормальной ткани на основе применения ЛКМ, для которых получены соответствующие математические выражения. Первый способ основан на оценке части использованной толерантности облучаемой ткани, а второй осуществляется путем перевода применяемого режима фракционирования дозы в нейтронной терапии в изоэффективный стандартный режим фотонной терапии.

**Выводы:** Показано, что ЛКМ может быть применена для планирования режимов облучения в нейтронной терапии пациентов со злокачественными новообразованиями на циклотроне У-120 по критерию ранних лучевых реакций. Достигнутый результат расширяет возможности радиобиологического планирования нейтронной терапии и может служить основой для разработки способа применения ЛКМ при прогнозировании поздних лучевых осложнений.

**Ключевые слова:** нейтронная терапия, планирование, линейно-квадратичная модель, ранние лучевые реакции

Поступила: 31.05.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

**Введение**

Важной задачей в лучевой терапии (ЛТ) злокачественных новообразований остается разработка таких режимов фракционирования дозы, при которых высокая эффективность поражения злокачественных опухолей сочетается с допустимой частотой и выраженностью лучевых реакций нормальной ткани. В последние годы риск лучевых осложнений при ЛТ снижен благодаря двум обстоятельствам. Во-первых, прогресс диагностических методов позволил выявлять опухоли на ранних стадиях, что привело к значительному уменьшению объемов тканей, подвергаемых облучению. Во-вторых, совершенствование методик ЛТ обеспечивает более щадящие режимы облучения благодаря формированию дозовых распределений, адекватных форме облучаемой опухоли, например, за счет применения многолепестковых коллиматоров. Очевидно, что облучение меньших объемов ткани при прочих равных условиях снижает риск возникновения как ранних, так и поздних лучевых реакций (РЛР, ПЛР).

Однако прогресс в диагностике злокачественных новообразований и совершенствование методик облучения все-таки не исключают радиобиологического планирования (РП), при котором осуществляют выбор однократных и суммарных очаговых доз, обеспечивающих приемлемый уровень лучевых реакций. Особое значение РП имеет в нейтронной терапии (НТ), клинический опыт проведения которой значительно меньше

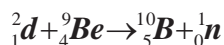
соответствующего опыта, накопленного в фотонной терапии (ФТ) [1]. В фотонной и в нейтронной терапии до недавнего времени для РП применяли концепцию Ellis и ее модификации [2, 3]. Вместе с тем, в ФТ все шире применяют линейно-квадратичную модель (ЛКМ) [3–6]. Для РП нейтронной терапии ЛКМ ранее не применяли.

Цель работы – рассмотреть возможность применения ЛКМ для планирования режимов облучения в дистанционной терапии злокачественных опухолей быстрыми нейтронами.

**Линейно-квадратичная модель**

НТ является эффективным методом лечения пациентов с опухолями, резистентными к редко ионизирующему излучению [7–10]. Одна из ее особенностей состоит в том, что относительная биологическая эффективность (ОБЭ) нейтронов зависит от их энергии и лежит в пределах от 2 до 6 [1]. Поэтому необходимы различные подходы к РП для различных источников нейтронов. НТ проводят на ядерном реакторе [11], нейтронном генераторе [12] и на циклотроне [7–10]. В данной работе рассмотрена возможность применения ЛКМ для РП нейтронной терапии на циклотроне У-120.

Терапевтический пучок нейтронов на ускорителе получен в реакции дейтронов на бериллии:



и характеризуется сплошным энергетическим спектром со средней энергией ~ 6,3 МэВ.

Особенность ЛКМ состоит в том, что в фотонной терапии на ее основе возможно прогнозировать не только ранние, но и поздние лучевые реакции [3, 5, 6]. В данном случае, применительно к НТ, на первом этапе исследований рассмотрена возможность применения ЛКМ для контроля РЛР по следующим причинам. Во-первых, много лет для планирования НТ применяют модель ВДФ [2], которая обеспечивает удовлетворительный прогноз РЛР [7–10]. Поэтому сравнение результатов, полученных с помощью двух моделей, позволит судить о степени риска применения ЛКМ для планирования нейтронной терапии. Во-вторых, при лечении больных врач-радиотерапевт непосредственно наблюдает РЛР и, в значительной степени, ориентируется на них при коррекции суммарной очаговой дозы (СОД). При РП ФТ зачастую необходимо учитывать гетерогенность облучаемых тканей [13]. Однако распределение дозы нейтронов в облучаемых тканях таково, что с наибольшей частотой РЛР проявляются на коже [7–10], поэтому на первом этапе исследований изучена возможность применения ЛКМ для контроля РЛР кожи.

Согласно ЛКМ, выживаемость клеток при однократном облучении в общем случае может быть описана выражением:

$$S = S_0 \exp[-(\alpha d + \beta d^2)], \quad (1)$$

где  $S_0$  и  $S$  – абсолютное число клеток до и после облучения дозой  $d$  соответственно;  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры модели, причем параметр  $\alpha$  определяет долю летальных повреждений в клетках и выражается в  $\text{Гр}^{-1}$ , а параметр  $\beta$  определяет долю накапливаемых сублетальных повреждений и имеет размерность  $\text{Гр}^{-2}$ .

Применение ЛКМ для радиобиологического планирования основано на следующих основных принципах [3, 5, 6]:

- 1) биологический эффект при облучении тканей обусловлен только числом выживших клеток;
- 2) восстановление пораженных радиационным воздействием внутриклеточных структур осуществляется полностью за время между сеансами облучения;
- 3) пролиферацию выживших клеток в течение курса ЛТ не учитывают.

При указанных условиях, эффект от фракционированного облучения определяют как долю выживших клеток:

$$E = s = \frac{S}{S_0} = \exp[-N(\alpha d + \beta d^2)], \quad (2)$$

где  $N$  – число сеансов терапии.

Чтобы решить задачу планирования НТ на основе ЛКМ, необходимо знать параметры  $\alpha_n$  и  $\beta_n$ , характеризующие реакцию кожи на облучение нейтронами. Один из способов определения параметров  $\alpha_n$  и  $\beta_n$  предложен нами в работе [14]. Здесь для их оценки при-

менен иной подход. Задача всех известных способов РП ЛТ состоит в выборе режимов фракционирования дозы, обеспечивающих допустимую степень поражения облучаемой ткани. Известно, что за образцовый, приводящий к допустимой частоте и выраженности РЛР кожи, в ФТ принят стандартный режим, при котором облучение проводят при разовой очаговой дозе (РОД) 2 Гр пять раз в неделю до суммарной дозы 60 Гр [3, 4]. В работе [14] для этого режима определены радиобиологические параметры ЛКМ для кожи и редко ионизирующего излучения:  $\alpha_\gamma = 0,25 \text{ Гр}^{-1}$ ;  $\beta_\gamma = 0,025 \text{ Гр}^{-2}$ . С учетом характеристик стандартного режима фракционирования и данных о радиобиологических параметрах ЛКМ для кожи по (2) можно установить, что предельно допустимой степени и частоте ранних лучевых реакций соответствует эффект, выраженный долей выживших клеток  $E = 1,5 \times 10^{-8}$ . Очевидно, что, согласно приведенному выше п. 1, все режимы фракционирования дозы при использовании различных видов излучения обеспечат допустимую степень РЛР при условии  $E \leq 1,5 \times 10^{-8}$ . Следовательно, указанное условие является справедливым и для нейтронной терапии. Поэтому выражение (2) для курсов НТ, приводящих к полному использованию толерантности облучаемой ткани, можно записать в виде:

$$E_n = \exp[-N_n(\alpha_n d_n + \beta_n d_n^2)] = 1,5 \times 10^{-8}, \quad (3)$$

где  $d_n$  и  $N_n$  – РОД и число сеансов нейтронной терапии.

Логарифмируя уравнение (3), перейдем к новому уровню эффектов:

$$\begin{aligned} E_1 = |\ln E_n| &= N_n(\alpha_n d_n + \beta_n d_n^2) = \\ &= N_n d_n \beta_n (\alpha_n / \beta_n + d_n) = 18. \end{aligned} \quad (4)$$

При средней энергии нейтронов 6,3 МэВ базовым курсом, полностью исчерпывающим толерантность нормальной ткани, считают режим с  $T_n = 28$  сут;  $N_n = 12$ ;  $d_n = 1,3 \text{ Гр}$  [15]. Из радиобиологических исследований известно [16], что для конкретного типа ткани параметр  $\beta$  для плотно ионизирующего излучения, по сравнению с таковым для редко ионизирующего излучения, остается практически неизменным, изменяется лишь параметр  $\alpha$ . Полагая, что  $\beta_n = \beta_\gamma = 0,025 \text{ Гр}^{-2}$ , при указанных параметрах курса НТ, по (4) можно определить, что для исследуемого нейтронного пучка и кожи  $\alpha_n = 1,12 \text{ Гр}^{-1}$ . Найденным параметрам соответствует отношение

$$\frac{\alpha_n}{\beta_n} = 48 \text{ Гр},$$

которое практически совпадает с аналогичным значением, найденным по данным работы [14]: различие этих величин составляет менее 0,04 %.

На основании данных о параметрах  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$  и уравнения (4), для всех курсов НТ, приводящих к полному использованию толерантности нормальной ткани, можно получить выражение:

$$N_n d_n (44,8 + d_n) = 720. \quad (5)$$

Выразив из (5)  $d_n$ , найдем взаимосвязь между  $d_n$  и  $N_n$  для изоэффективных режимов:

$$d_{n,ЛКМ} = 22,4 \left[ \left( 1 + \frac{1,44}{N_n} \right)^{0,5} - 1 \right]. \quad (6)$$

### Сравнение с моделью ВДФ

Поскольку рассматривается возможность применения ЛКМ для прогнозирования РЛР, представляет интерес сравнение зависимости (6) с аналогичной зависимостью, полученной на основе модели ВДФ. Формула для фактора ВДФ в НТ для равномерного режима фракционирования впервые получена нами в [2]:

$$ВДФ_n = 6,9 \times N_n \times d_n^{1,18} \times X_n^{-0,13}, \quad (7)$$

$X_n$  – временной интервал между сеансами терапии, сут;  
 $X_n = \frac{T_n}{N_n - 1}$ , где  $T_n$  – длительность курса терапии, сут.

С учетом того, что предельно допустимое значение ВДФ = 100, на основании (7), для базовой длительности курса НТ [15] можно получить формулу:

$$d_{n,ВДФ} = \frac{14}{N_n^{0,85} (N_n - 1)^{0,11}}. \quad (8)$$

Уравнение (8) устанавливает связь между параметрами  $d_n$  и  $N_n$  для изоэффективных режимов НТ, рассчитанных на основе модели ВДФ и приводящих к предельно допустимой степени РЛР. Результаты расчета по (6) и (8) приведены на рис. 1. Как видно, наблюдается хорошее согласие между значениями доз, рассчитанных по модели ВДФ и ЛКМ, что указывает на корректность предложенного подхода к оценке параметров  $\alpha_n$  и  $\beta_n$  и справедливость формулы (6), полученной на основе ЛКМ.

Для дополнительного подтверждения корректности избранного подхода на его основе получены зависимости, аналогичные представленным на рис. 1, для ФТ. Из выражения (4) при указанных выше значениях  $\alpha_\gamma$  и  $\beta_\gamma$ , взаимосвязь между  $d_\gamma$  и  $N_\gamma$  для изоэффективных режимов фракционирования ФТ можно выразить в виде:

$$d_{\gamma,ЛКМ} = 5 \left[ \left( 1 + \frac{28,8}{N_\gamma} \right)^{0,5} - 1 \right]. \quad (9)$$

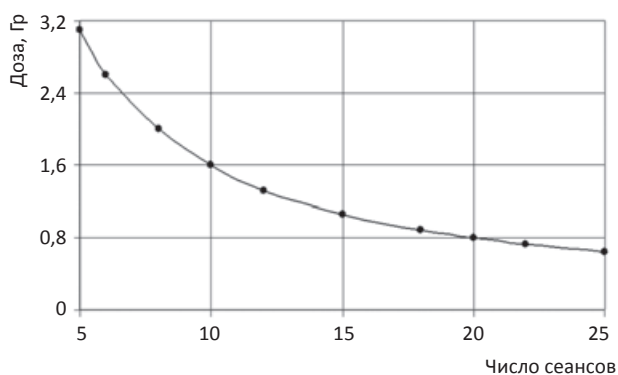


Рис. 1. Зависимости однократной дозы от числа сеансов для курса нейтронной терапии базовой длительности, рассчитанные по ЛКМ (линия) и ВДФ (точки)

Фактор ВДФ в ФТ при измерении поглощенной дозы в радах вычисляли по формуле [17]:

$$ВДФ_\gamma = 10^{-3} \times N_\gamma \times d_\gamma^{1,538} \times X_\gamma^{-0,17}.$$

Поскольку в настоящее время единицей поглощенной дозы является грей (Гр), выражение для фактора ВДФ в ФТ приведено к виду:

$$ВДФ_\gamma = 1,2 \times N_\gamma \times d_\gamma^{1,538} \times X_\gamma^{-0,17}, \quad (10)$$

где  $d_\gamma$  – однократная доза, Гр.

Выражение для допустимых однократных доз, найденных по (10), для курса стандартной длительности будет иметь вид:

$$d_{\gamma,ВДФ} = \frac{26,6}{N^{0,65} (N - 1)^{0,11}}. \quad (11)$$

Результаты расчета по (9) и (11) приведены на рис. 2: линия – расчет по (9), точки – расчет по (11). Видно, что графики хорошо совпадают между собой, что свидетельствует о преемственности ЛКМ по отношению к концепции Ellis по критерию РЛР. Из сравнения графиков рис. 1 и рис. 2 следует, что в фотонной и нейтронной терапии существуют типичные закономерности в соотношениях между разовыми очаговыми дозами и числом сеансов терапии. Результат получен с помощью не зависящих друг от друга моделей, что позволяет высказать дополнительное суждение о достоверности найденных параметров ЛКМ в нейтронной терапии.

### Контроль степени поражения нормальной ткани

Важнейшей задачей в процессе радиобиологического планировании НТ является контроль степени поражения облучаемой ткани. Для ФТ на основе использования ЛКМ известны два способа ее решения. В методическом руководстве [3] вычисляют некоторую величину, соответствующую части использованной толерантности облучаемой ткани, которую называют суммарным эффектом (СЭ). В работах [5, 6] в случае ФТ соответствующий контроль рекомендуют осуществлять путем перевода реально применяемого режима

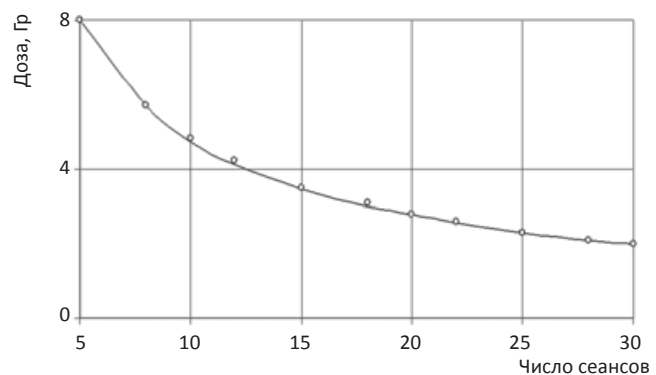


Рис. 2. Зависимости однократной дозы от числа сеансов для курса фотонной терапии базовой длительности, рассчитанные по ЛКМ (линия) и ВДФ (точки)



фракционирования в изоэффективный стандартный режим. Рассмотрим оба известных способа применительно к нейтронной терапии.

#### Расчет условного суммарного эффекта

Запишем выражение (4) в виде:

$$E_1 = N_n d_n \beta_n (\alpha_n / \beta_n + d_n). \quad (12)$$

Переходя к следующему уровню эффектов, разделим все части уравнения (12) на  $\beta_n$  и, обозначив  $SЭ_n = \frac{E_1}{\beta_n}$ , получим:

$$SЭ_n = N_n d_n \left( \frac{\alpha_n}{\beta_n} + d_n \right). \quad (13)$$

Выражение (13) для некоторого условного суммарного эффекта в НТ аналогично соответствующему выражению в работе [3], полученному для фотонной терапии. Предельно допустимое значение  $SЭ_n$ , согласно принципам ЛКМ, должно быть таким же, как и в случае ФТ [4], т.е.  $\sim 720$ . Указанную величину просто получить, подставив в (13) значения параметров базового курса НТ и  $\alpha_n/\beta_n$  [12]. Для удобства сопоставления результатов расчета по ЛКМ с результатами, получаемыми по широко применявшейся ранее модели ВДФ при текущем контроле степени поражения ткани, была проведена нормировка выражения (13), что позволяет для предельных случаев записать его в виде:

$$0,14 N_{n,пред} d_n (44,8 + d_n) = 100. \quad (14)$$

В результате условный суммарный эффект, достигаемый в НТ за  $N_n$  фракций при однократной дозе  $d_n$ , по ЛКМ будет определяться формулой:

$$SЭ_n = 0,14 N_n d_n (44,8 + d_n). \quad (15)$$

Предельное значение  $SЭ_n$  в (15), до которого можно проводить процедуру облучения, равно 100 ед. В известном смысле, величина  $SЭ_n$  является аналогом фактора ВДФ, определяемого по выражению (7). По формулам (7) и (15) для сравнения рассчитаны зависимости  $SЭ_n$  и ВДФ<sub>n</sub> от числа сеансов базового курса НТ [15], иллюстрирующие характер нарастания степени поражения облучаемой ткани в процессе облучения. Результаты представлены на рис. 3. Наблюдаемое совпадение зависимостей указывает на возможность

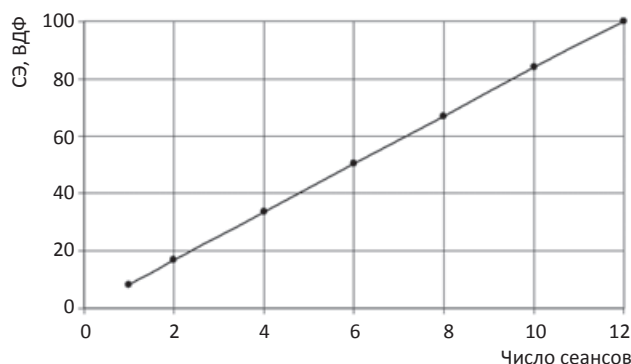


Рис. 3. Зависимости  $SЭ_n$  (линия) и ВДФ<sub>n</sub> (точки) от числа сеансов для базового курса нейтронной терапии

применения ЛКМ для планирования курсов НТ по критерию прогнозирования РЛР.

Особенности эксплуатации циклотрона позволяют проводить НТ два раза в неделю, т.е. средний временной интервал между сеансами составляет  $X \approx 3,5$  сут, в то время как для стандартного режима фракционирования [15] эта величина равна  $\sim 2,5$  сут. Как видно из выражения (15), при расчете частично использованной толерантности облучаемой ткани по ЛКМ, в отличие от расчета по модели ВДФ, не учитывают временной интервал между сеансами терапии. Поэтому представляет интерес сравнение значений ВДФ и  $SЭ_n$  для курсов НТ с реальным временным интервалом между сеансами терапии.

В работах [5, 6] обсуждается вопрос о необходимости учета длительности курсов и временного интервала между сеансами при планировании фотонной терапии на основе ЛКМ, поскольку фактор времени является важным для процессов репарации и репопуляции клеток облучаемой ткани. Согласно одному из приведенных выше принципов построения ЛКМ (п. 2), делается допущение, что внутриклеточная репарация завершается полностью за время между сеансами облучения, а в [5] выражено мнение, что в большинстве нормальных тканей процесс может закончиться за шесть часов. Поэтому в [5] соответствующие поправки введены только при расчете дозовых характеристик для мультифракционирования, когда временные интервалы между сеансами меньше шести часов. Поскольку в рассматриваемом случае НТ временной интервал между сеансами  $X \approx 3,5$  сут, во введении поправок, связанных с внутриклеточной репарацией, нет необходимости.

Во время ЛТ происходит репопуляция тканей, особенно тех, которые быстро реагируют на облучение. Авторы работы [6], полагая возможным учесть репопуляцию для рано реагирующих здоровых тканей, считают, что соответствующие поправки сложным образом зависят от разовой дозы, типа ткани и рекомендуют рассматривать репопуляцию тканей как отдельную проблему в лучевой терапии. Однако полагают, что наилучшим выбором для тканей, поздно реагирующих на облучение, является ЛКМ без учета фактора времени. Таким образом, конкретных рекомендаций по вопросу учета процесса репопуляции в ЛТ для рано реагирующих тканей на сегодняшний день не выработано. В нашем случае для решения вопроса о необходимости введения поправок на репопуляцию клеток проведены сравнительные расчеты для реальных курсов НТ по ЛКМ и ВДФ с учетом того, что ВДФ удовлетворительно отражает возможность контроля РЛР для кожи. При постоянном временном интервале между сеансами в НТ применяют различные РОД. Так, например, при раке щитовидной железы и слюнных желез РОД находятся в пределах  $1,2 \div 2,4$  Гр, а при раке молочной железы РОД =  $1,8 \div 2,8$  Гр [7–10].

Для наиболее полного представления о соотношении  $SЭ_n$  и ВДФ в интервале рассматриваемых значе-



ний РОД получена зависимость, характеризующая отношение этих величин при одинаковом числе сеансов терапии:

$$OTN = \frac{CЭ_n}{ВДФ_n} = \frac{44,8 + d}{41,8d^{0,18}}. \quad (16)$$

Зависимость (16) отражена графиком на рис. 4, из которого следует, что при РОД  $\approx 1,8$  Гр значения  $CЭ_n$  и  $ВДФ_n$  совпадают между собой. Это означает, что при  $d < 1,8$  Гр более щадящие режимы облучения обеспечивает планирование по ЛКМ, а при  $d > 1,8$  Гр – планирование на основе модели ВДФ. Однако, в целом между значениями  $CЭ_n$  и  $ВДФ_n$  во всем интервале РОД, применяемых в НТ на циклотроне У-120, наблюдается вполне удовлетворительное для радиобиологических величин согласие. Полученный результат соответствует выводам работ [4, 6], в которых показано, что для ФТ и концепция Ellis, и ЛКМ при расчетах по критерию РЛР дают близкие между собой параметры курсов терапии.

**Пересчет реальных режимов фракционирования в стандартные режимы**

Один их способов контроля степени поражения облучаемой ткани состоит в переводе параметров реально применяемого режима фракционирования дозы в параметры клинически апробированного режима, гарантирующего приемлемую частоту и выраженность лучевых реакций. В качестве такого режима на практике принят стандартный режим ФТ, параметры которого приведены выше. Именно такой подход к прогнозированию риска возникновения РЛР при нейтронной терапии принят нами практически с самого начала ее проведения, в т.ч. и в случае предоперационной НТ в [18]. Перевод режима фракционирования дозы при НТ в изоэффективный режим ФТ осуществлялся на основе модели ВДФ [2]. При планировании ФТ на основе ЛКМ также рекомендуют для предотвращения недопустимых лучевых реакций переводить реальные режимы фракционирования в изоэффективный стандартный режим [6]. Обсуждаемый подход в ФТ реализован в методическом руководстве [5].

Рассмотрим способ оценки режимов фракционирования НТ по критерию РЛР в случае, когда переход к стандартному курсу ФТ осуществляется на основе ЛКМ. Доля клеток, выживших при облучении ткани нейтронами, на основании формул (2) и (3), равна:

$$s_n = \exp[-N_n(\alpha_n d_n + \beta_n d_n^2)]. \quad (17)$$

Аналогичное выражение в случае облучения фотонами будет иметь вид:

$$s_\gamma = \exp[-N_\gamma(\alpha_\gamma d_\gamma + \beta_\gamma d_\gamma^2)]. \quad (18)$$

Если курсы НТ и ФТ терапии изоэффективны, т.е. обеспечивают одинаковый уровень выживаемости клеток облучаемой ткани, то:

$$\exp[-N_n(\alpha_n d_n + \beta_n d_n^2)] = \exp[-N_\gamma(\alpha_\gamma d_\gamma + \beta_\gamma d_\gamma^2)]. \quad (19)$$

Логарифмируя обе части уравнения (19), получим:

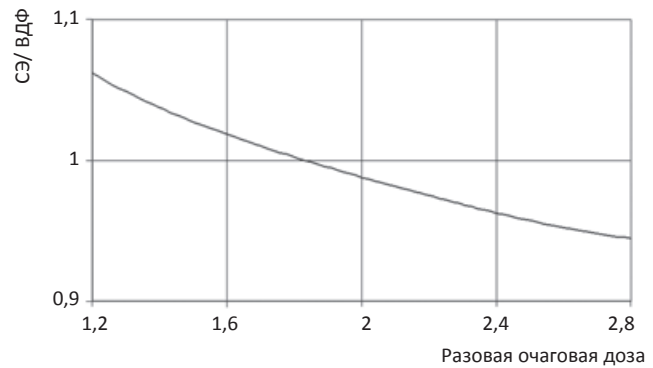


Рис. 4. Зависимость отношения величин  $CЭ_n$  и  $ВДФ_n$  от разовой очаговой дозы

$$N_n(\alpha_n d_n + \beta_n d_n^2) = N_\gamma(\alpha_\gamma d_\gamma + \beta_\gamma d_\gamma^2). \quad (20)$$

На основании (20), с учетом того, что, согласно [16],  $\beta_\gamma \approx \beta_n$ , найдем:

$$D_\gamma = \frac{\alpha_n / \beta_n + d_n}{\alpha_\gamma / \beta_\gamma + d_\gamma} D_n, \quad (21)$$

где  $D_n$  и  $D_\gamma$  – суммарные дозы нейтронов и фотонов соответственно.

Если учесть, что для стандартного курса ФТ  $d_\gamma = \text{РОД} = 2$  Гр и для РЛР  $\frac{\alpha_\gamma}{\beta_\gamma} = 10$  Гр [3, 6], а  $\frac{\alpha_n}{\beta_n} = 48$  Гр, то выражение (21) можно свести к формуле:

$$D_\gamma = 0,083(44,8 + d_n)D_n. \quad (22)$$

Соотношение (22) позволяет сравнить фактически применяемый режим НТ при разовой дозе  $d_n$  и суммарной дозе  $D_n$  со стандартным режимом ФТ, проводимом при  $\text{РОД}_\gamma = 2$  Гр. Критерием, обеспечивающим приемлемый уровень лучевых реакций в НТ, будет служить условие  $D_\gamma \leq 60$  Гр. Подставив в (22) параметры базового курса НТ из [12] ( $d_n = 1,3$  Гр;  $D_n = 15,6$  Гр), приводящего к предельно допустимой степени поражения облучаемой ткани по критерию РЛР, можно убедиться, что ему соответствует стандартный курс ФТ с  $D_\gamma = 60$  Гр.

**Заключение**

Таким образом, рассмотрена возможность применения ЛКМ для планирования режимов облучения в дистанционной терапии злокачественных опухолей быстрыми нейтронами на циклотроне У-120 по критерию контроля ранних лучевых реакций кожи. При решении данной задачи предложен способ оценки параметров ЛКМ для кожи.

Проведенное сравнение зависимостей однократной дозы нейтронов от числа сеансов терапии, полученных по моделям ВДФ и ЛКМ, показало хорошее их согласие, что указывает на корректность предложенного подхода к оценке радиобиологических параметров  $\alpha_n$  и  $\beta_n$ .

Предложены два способа применения ЛКМ для планирования режимов нейтронной терапии: путем

оценки условного суммарного эффекта ( $CЭ_n$ ) и путем перевода применяемого реального режима НТ в стандартный режим фотонной терапии на любом ее этапе.

В итоге показано, что ЛКМ, наряду с моделью ВДФ, может быть применена для планирования режимов облучения в нейтронной терапии на циклотроне У-120 по критерию прогнозирования ранних лучевых реакций, что в дальнейшем может послужить основанием для перехода к возможности прогнозировать и поздние лучевые реакции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wagner F.M., Specht H., Loeper-Kabasakal B., Breikreutz H. Современное состояние терапии быстрыми нейтронами // Сибирский онкол. журнал. 2015. № 6. С. 5–11.
2. Лисин В.А. Модель ВДФ для дистанционной терапии злокачественных опухолей быстрыми нейтронами // Мед. радиология. 1988. Т. 33. № 9. С. 9–12.
3. Павлов А.С., Фадеева М.А., Карякина Н.Ф. и соавт. Линейно-квадратичная модель в расчетах изoeffективных доз, в оценке противоопухолевого эффекта и лучевых осложнений при лучевой терапии злокачественных опухолей. – Пособие для врачей. Москва. 2005. 67 с.
4. Клеппер Л.Я. Сравнительный анализ LQ модели и модели Ellis при облучении кожи // Мед. физика. 2010. № 4. С. 29–36.
5. Акимов А.А., Афанасьев Б.П., Козлов А.П. и соавт. Оценка биологической эффективности различных режимов фракционирования дозы при дистанционной лучевой терапии. – СПб.: Изд-во СПбМАПО. 2008. 26 с.
6. Joiner M.C., Bentzen S.M. Fractionation: the linear-quadratic approach // In: Basic Clinical Radiobiology. Ed. by Joiner M.C., A. van der Kogel. 2009. P. 102–120.
7. Великая В.В., Мусабаева Л.И., Старцева Ж.А., Лисин В.А. Быстрые нейтроны 6,3 МэВ в комплексном лечении больных местными рецидивами рака молочной железы // Вопросы онкологии. 2015. Т. 61. № 4. С. 583–585.
8. Musabaeva L.I., Startseva Z.A., Gribova O.V. et al. Novel technologies and theoretical models in radiation therapy of cancer patients using 6.3 MeV fast neutrons produced by U-120 cyclotron // AIP Conf. Proc. 2016. Vol. 1760. 020050 (2016).
9. Gribova O.V., Musabaeva L.I., Choynzonov E.L. et al. Neutron therapy for salivary and thyroid gland cancer // AIP Conf. Proc. 2016. Vol. 1760. 020021 (2016).
10. Velikaya V.V., Musabaeva L.I., Lysin V.A., Startseva Z.A. 6.3 MeV fast neutrons in the treatment of patients with locally advanced and locally recurrent breast cancer // AIP Conf. Proc. 2016. Vol. 1760. 020069. (2016).
11. Гулидов И.А., Мардынский Ю.С., Цыб А.Ф., Сысоев А.С. Нейтроны ядерных реакторов в лечении злокачественных новообразований. – Обнинск: Изд-во МРНЦ РАМН. 2001. 132 с.
12. Важенин А.В., Рыкованов Г.Н. Уральский центр нейтронной терапии: история создания, методология, результаты работ. – М.: Издательство РАМН. 2008. 124 с.
13. Kondratjeva A.G., Kolchuzhkin A.M., Lysin V.A., Tropin I.S. Properties of absorbed dose distribution in heterogeneous media // J. Physics: Conf. Series. 2006. Vol. 41. № 1. P. 527–530.
14. Лисин В.А. Оценка параметров линейно-квадратичной модели в нейтронной терапии // Мед. физика. 2010. № 4. С. 5–12.
15. Catterall M., Bewley D. K. Fast Neutrons in the Treatment of Cancer. – London, Academic Press, New York, Grune and Stratto. 1979. 394 p.
16. Dale R.G., Jones B. The assessment of RBE effects using the concept of biologically effective dose // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. Vol. 43. № 3. 1999. P. 639–645.
17. Холин В.В. Радиобиологические основы лучевой терапии опухолей. – Л.: Медицина. 1979. 220 с.
18. Мусабаева Л.И., Слонимская Е.М., Лисин В.А. и соавт. Нейтронная терапия в комплексном лечении местнораспространенного рака молочной железы // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 1998. Т. 43. № 2. С. 49–54.

**Для цитирования:** Лисин В.А. Линейно-квадратичная модель в планировании нейтронной терапии на циклотроне У-120 // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 41–47.

DOI: 10.12737/article\_5bc896bae399e0.21861306

## Linear-Quadratic Model for Planning Neutron Therapy with the Use of U-120 Cyclotron

V.A. Lysin

Cancer Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia.  
E-mail: lysin@oncology.tomsk.ru

V. A. Lysin – Dr. Sc. Tech., Prof.

#### Abstract

**Purpose:** To estimate the feasibility of using linear-quadratic model (LQM) for planning neutron therapy regimens by the criterion of early radiation-induced reactions.

**Material and methods:** The LQM, which described the reaction of tissues to fractionated irradiation, was used. The results obtained were compared with similar results found on the basis of the TDF model successfully used for neutron therapy planning.

**Results:** The LQM parameters  $\alpha_n$  and  $\beta_n$  for radiation induced skin damage were found. The dependence of a single dose of neutrons on the number of therapy sessions was obtained. This dependence was in good agreement with the analogous dependence found by the TDF model, which indicated the correctness of the method for calculating it. When using LQM for planning neutron therapy, the issue related with the time intervals between sessions was considered. For this purpose, the comparative calculations of the ratio of the total effect, determined by the LQM, and the TDF factor were carried out. The difference between the compared values did not exceed 6 %, thus allowing the time interval for planning neutron therapy using LQM to be excluded.

Two methods to control the damage to normal tissue using LQM were considered. The first method was based on the evaluation of part of the used tolerance of the irradiated tissue, and the second one was carried out by transferring the applied dose fractionation regimen of neutron therapy to the isoeffective standard regimen of photon therapy.

**Conclusion:** It was shown that LQM can be used for planning neutron therapy regimens in cancer patients by the criterion of early radiation-induced reactions. The results obtained extend the potential of radiobiological planning of neutron therapy and can serve as a basis for the development of the method of using LQM in prediction of late radiation-induced complications.

**Key words:** neutron therapy, planning, linear-quadratic model, early radiation-induced reactions

## REFERENCES

1. Wagner FM, Specht H, Loeper-Kabasakal B, Breikreutz H. Fast neutron therapy: a status report. *Siberian Journal of Oncology*. 2015;(6):5-11. Russian.
  2. Lisin VA. TDF model for fast neutron radiation therapy of malignant tumors. *Medical Radiology*. 1988;33(9):9-12. Russian.
  3. Pavlov AS, Fadeeva MA, Karyakina NF, Kostromina KN, Simakina EP, et al. Linear-quadratic model in the calculation of isoeffective doses and in the evaluation of anti-cancer effect and radiation-induced injuries. *Manual for physicians*. Moscow; 2005. 67 p. Russian.
  4. Klepper LYa. Comparative analysis of the LQ model and the Ellis model in skin irradiation. *Medical Physics*. 2010;(4):29-36. Russian.
  5. Akimov AA, Afanasyev BP, Kozlov AP, Nikolaeva EN, Ilyin NV, Mamin TE. Evaluation of the biological effectiveness of different dose fractionation regimes in external beam radiation therapy. – Sankt Peterbourg: SPbMAPO press; 2008. 26 p. Russian.
  6. Joiner MC, Bentzen SM. Fractionation: the linear-quadratic approach. In: *Basic Clinical Radiobiology*. Ed. by Joiner MC, A van der Kogel; 2009. P. 102-20.
  7. Velikaya VV, Musabaeva LI, Startseva ZhA, Lisin VA. 6.3 fast neutrons in the treatment of locally recurrent breast cancer. *Voprosy Onkologii*. 2015;61(4):583-5. Russian.
  8. Musabaeva LI, Startseva ZhA, Gribova OV, Velikaya VV, Lisin VA. Novel technologies and theoretical models in radiation therapy of cancer patients using 6.3 MeV fast neutrons produced by U-120 cyclotron. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1760: *Physics of Cancer: Interdisciplinary Problems and Clinical Applications 2016: Proceedings of the International conference*; 2016 Mar 22-25; Tomsk, Russia; 2016. p. 020050, 5. Available from: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35786>. DOI: 10.1063/1.4960269.
  9. Gribova OV, Musabaeva LI, Choyzonov EL, Lisin VA, Novikov VA. Neutron Therapy for Salivary and Thyroid Gland Cancer. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1760; 2016. p. 020021, 5. Available from: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35774>.
  10. Velikaya VV, Musabaeva LI, Lisin VA, Startseva ZA, Startseva ZhA. 6.3 MeV fast neutrons in the treatment of patients with locally advanced and locally recurrent breast cancer. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1760; 2016. p. 020069, 4. Available from: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/35796>.
  11. Gulidov IA, Mardynsky YuS, Tsyb AF, Sysoev AS. Neutrons of nuclear reactors in the treatment of malignant neoplasms. *Obninsk*; 2001. 132 p. Russian.
  12. Vazhenin AV, Rykovanov GN. *Ural Center for Neutron Therapy: history, methodology, work results*. Moscow: Publishing house of RAMS; 2008. 124 p. Russian.
  13. Kondratjeva AG, Kolchuzhkin AM, Lisin VA, Tropin IS. Properties of absorbed dose distribution in heterogeneous media. *Journal of Physics: Conference Series*. 2006;41(1):527-50.
  14. Lisin VA. Estimation of the parameters of the linear-quadratic model in neutron therapy // *Medical Physics*. 2010;(4):5-12. Russian.
  15. Catterall M, Bewley DK. *Fast neutrons in the Treatment of Cancer*. London, Academic Press, New York, Grune and Stratto; 1979. 394 p.
  16. Dale RG, Jones B. The assessment of RBE effects using the concept of biologically effective dose. *Int J Radiation Oncol Biol Phys*. 1999;43(3):639-45.
  17. Kholin VV. *Radiobiological bases of radiation therapy of malignant tumors*. – Leningrad. «Medicine»; 1979. 200 p. Russian.
  18. Musabaeva LI, Slonimskaya EM, Lisin VA, Shagiakhmetova RA, Yalova ME. Neutron therapy in the treatment of locally advanced breast cancer. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 1998;43(2):9-54. Russian.
- For citation:** Lisin VA. Linear-Quadratic Model for Planning Neutron Therapy with the Use of U-120 Cyclotron. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2018;63(5):41-7. Russian. DOI: 10.12737/article\_5bc896bae399e0.21861306

**Yu.A. Kurachenko<sup>1</sup>, N.I. Sanzharova<sup>1</sup>, G.V. Kozmin<sup>1</sup>, V.A. Budarkov<sup>2</sup>, E.N. Denisova<sup>1</sup>, A.S. Snegirev<sup>1</sup>**

## **CATTLE'S THYROID DOSE ESTIMATION WITH COMPARTMENTAL MODEL OF IODINE METABOLISM AND MONTE CARLO TRANSPORT TECHNIQUE**

1. Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE), Obninsk, Russia. E-mail: ykurachenko@mail.ru;  
2. Federal Research Center of Virology and Microbiology, Volginsky, Russia

Yu. A. Kurachenko – Chief Researcher, Dr. Sc. Phys-Math.; N.I. Sanzharova – RIRAE Director, RAS Corr.Member, Dr. Sc. Biol.; G.V. Kozmin – Leading Researcher, PhD Biol.; V.A. Budarkov – Chief Researcher, Dr. Sc. Biol.; E.N. Denisova – Junior Researcher, Post-Graduate Student; A.S. Snegirev – Junior Researcher, Post-Graduate Student

### **Abstract**

**Purpose:** This work aims first to improve the reliability of absorbed dose calculation in critical organs of cattle during internal irradiation immediately after radiation accidents by a) improving the compartmental model of radionuclide metabolism in animal body; b) the use of precision computing technologies for modeling as the domain, and the actual radiation transport. In addition, the aim of the work is to determine the agreed values of the <sup>131</sup>I critical dose in the cattle thyroid, leading to serious gland dysfunction and its follow-up destruction.

**Material and methods:** To achieve aforesaid goals, comprehensive studies were carried out to specify the parameters of the compartmental model, based on reliable experimental and theoretical data. Voxel technologies were applied for modeling the subject domain (thyroid gland and its environment). Finally, to solve the <sup>131</sup>I radiation transport equation, the Monte Carlo code was applied, which takes into account the contribution of gamma and beta radiation source, and the contribution of the entire chain of secondary radiations in the dose calculation, up to the total energy dissipation.

**Results:** As the main theoretical result, it is necessary to emphasize the conversion factor from the <sup>131</sup>I activity, distributed uniformly in volume of the thyroid gland, to the average dose rate in the gland (Bq × Gy/s). This factor was calculated for both cows and calves in the selected domain configuration and thyroid morphology. The main practical result is a reliable estimation the lower bound of the absorbed dose in the thyroid, which in a short time leads to its destruction under internal <sup>131</sup>I irradiation: ~300 Gy.

**Conclusion:** Usage a compartmental model of the <sup>131</sup>I metabolism with biokinetic parameters, received on the basis of reliable experimental data, and precise models of both the subject area and radiation transport for evaluation the dose in the cattle thyroid after the radiation accident allowed to obtain reliable values of the thyroid dose, adducting to its destruction at short notice.

**Key words:** radiation accident, cattle, radioactive iodine, thyroid gland, compartmental model, radiation transport, absorbed dose

Поступила: 02.08.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

### **Introduction**

Radiation accidents at nuclear installations (nuclear power plants, nuclear chemical plants, research reactors) are usually accompanied by releases of volatile and biologically dangerous iodine radionuclides into the environment, which can lead to contamination of large areas and cause irradiation of the thyroid gland (TG) in the population and mammals.

Along with the objectives of human radiation safety, modern regulatory documents suppose an ecocentric approach to radiation protection [1]. Environmental quality standards in the vast majority of radiological situations are observed if human radiation safety is ensured. At the same time, biological organisms, plants and animals, when the environment is polluting with radionuclides, are most often exposed to large doses (comparatively with human doses) the knowledge of which provides additional information for assessing the quality of the environment and making decisions for the preservation of natural ecological systems, the gene pool of plants and animals.

Due to the large biological diversity of living organisms, it is impossible to estimate doses for each type of biota, so it is customary to assess a small set of representative organisms – reference species. These species are considered as biological objects with certain basic ecological and biological characteristics. The reference representatives of biota in radioactive contamination of agricultural ecological systems can be rural animals. The basis for the selection of farm animals as reference species is the availability of data of constant veterinary control of animal

health indicators and characteristics of their changes due to radiation exposure [2].

To date, the main radiation syndromes have been studied, the manifestation of which in animals can be expected for various scenarios of radioactive contamination. The regularities of radiation pathology of the thyroid gland in the admission of iodine radioactive isotopes were studied. The data on the state of health of animals in the areas of influence of radiation accidents have been received. At the same time, the computational base and modern software for quantitative analysis of the dynamics of the formation of radiobiological effects are not sufficiently developed.

The object of the present study is aimed at estimation the critical radiation exposure leading to radiation destruction of the cattle thyroid tissue, on the basis of (a) compartmental model of the <sup>131</sup>I metabolism and (b) precise models the thyroid morphology & composition and radiation transport in it. At the same time, the biokinetic compartmental model should sufficiently provide initial information for problem solving both animals' internal radiation dosimetry, and radiation-hygienic evaluation of animal products.

### **Material and methods**

The analysis of <sup>131</sup>I intake to animals organs and tissues was carried out by means of compartmental analysis – a conventional methodological approach for evaluation the transport parameters of feed masses and radioactive materials in the gastrointestinal tract, as well



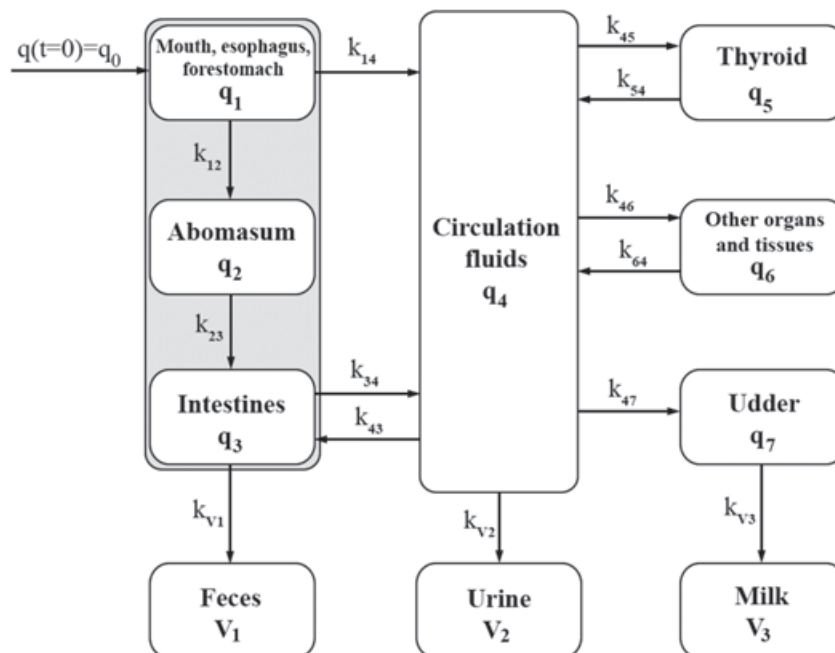


Fig. 1. Compartmental model of the <sup>131</sup>I metabolism in a cows body

as characteristics of the radionuclides metabolism in animals [3]. The accepted compartmental model of the <sup>131</sup>I metabolism in cows is shown in fig. 1. The results of the studies [4, 5] were taken into account when constructing a mathematical compartmental model [5].

To estimate the <sup>131</sup>I activity in TG, a compartmental model of the <sup>131</sup>I metabolism in the cattle body was used [6].

In general form, the dynamics of the iodine activity, received peroral, in an arbitrary compartment  $q_i$  ( $i = 1...n$ ) under the assumption of identical chemical form of <sup>131</sup>I in all the compartments during the whole observation time is formulated as follows

$$\frac{dq_i}{dt} = -\lambda q_i + \sum_j k_{ji} q_j - \sum_j k_{ij} q_i + f(t) \cdot \theta_i. \quad (1)$$

here

$q_i$  – the <sup>131</sup>I amount in the  $i$ -th compartment, MBq;

$\lambda$  – the <sup>131</sup>I radioactive decay constant, days<sup>-1</sup>;

$k_{ij}$  ( $k_{ji}$ ) – the rate constants of the <sup>131</sup>I transport for compartmental model, days<sup>-1</sup>;

$$\theta_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ 0, & i > 0 \end{cases}$$

$f(t)$  – rate function of the <sup>131</sup>I receipt from the external environment to barrier (gastrointestinal tract).

At single oral consumption of the forage containing <sup>131</sup>I, his receipt in barrier body sets by a starting condition:  $q_1(t = 0) = q_0$ .

Experimental data [6] were obtained on 3 clinically healthy cows aged 4–5 years, weighing 380–520 kg and milk yield 6.5–9.5 l per day. The diet of the cows consisted of various feeds (coarse, juicy and concentrated) and in the overall nutritional value and digestible protein corresponded to the zootechnical standards. Each cow received orally 185 MBq of the <sup>131</sup>I activity mixed with grass. To do this, 21 kg of freshly cut grass was divided into three equal parts, surface polluted with an aqueous

solution of Na<sup>131</sup>I (pH 7.2) with a sprinkler and then fed to the animals for 30 to 40 minutes. After the <sup>131</sup>I intake in 2 and 6 hours, on the first day, 11–14 hours in the next 6 days, and then 24–25 hours for 8 days at the same time cows were taken samples of blood, milk, urine and feces for radiometric analysis. Synchronously, the content of <sup>131</sup>I in the thyroid gland was determined *in vivo*.

To measure the samples activity, the authors of the experimental study [6] used a single-channel scintillation gamma spectrometer with a NaI(Tl) crystal of 80×70 mm size. The error of measurement was 10–15 %. Intravital estimation of the <sup>131</sup>I content in the TG was performed by scintillation detector with NaI(Tl) crystal of 40×40 mm size. The measurement error was ±40 %.

In the present work, the values of the <sup>131</sup>I metabolism parameters in cows were obtained from the correlation of the calculated data with empirical ones, corresponding to the achievement of the determination coefficients' maximum in all the compartments simultaneously, at the variation of the transport parameters and, accordingly, the dynamics of the <sup>131</sup>I content.

The values of the required biokinetic parameters allowed by the compartmental model were estimated using the boundary value of the determination coefficient ( $R^2$ ) – not less than 0.75 in the entire compartments [7] after a single <sup>131</sup>I intake with forage.

The calculations were performed using solutions the system of differential equations by the techniques of multifunctional interactive computer system PTC Mathcad Prime 4.0. The obtained in [8] dynamics of <sup>131</sup>I content in the thyroid gland of cows was used to calculate absorbed doses in this organ.

The developed compartmental model of iodine metabolism was adapted for the analysis of the experimental data [9] received on calves. This experiment was chosen as a «benchmark» because of the completeness and accuracy

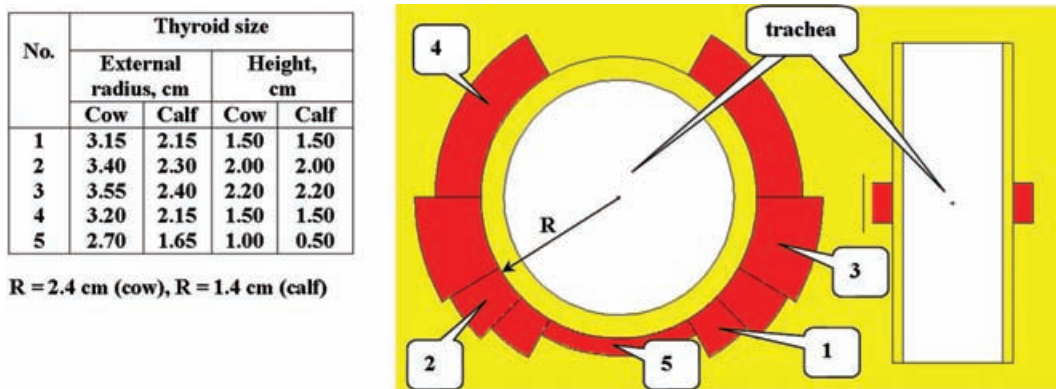


Fig. 2. Radial (left) and axial section of the TG computational model (not to scale; received by visualization of the MCNP5 code input). The table contains dimensions of TG cylindrical layers

description the experimental conditions and correct dosimetric data. Estimation of a range for rate constants  $k_{ij}$  for calves was carried out with use the parameters received in an experiment on dairy cows [6] without the Udder compartment (fig. 1) and also with the maximal parameters of metabolism more peculiar to a young animal, according to [8]. For estimation the  $^{131}\text{I}$  destructive effect on the TG of farm animals at radiation accidents the experimental data for cattle’s young growth [9] have been used. The calves of 3-month age with weight  $\sim 60$  kg took in  $^{131}\text{I}$  with two liters of milk daily during 6 days: at the first day 185 MBq, the activity of the next portions decreased in accordance with a radionuclide half-life period. On the 11<sup>th</sup> day of observations there was a sharp decrease in the dose rate of  $\gamma$ -radiation in the thyroid region [9], possibly due to radiation destruction the TG parenchymal tissue and the  $^{131}\text{I}$  injection into the blood stream. Also, the possibility of radiation-chemical decomposition of thyroxins in the thyroid tissue is not excluded.

Calculation of the  $^{131}\text{I}$  radiation field characteristics was carried out by means of the MCNP5 [10] code. The TG morphology, tissue density, weight and the characteristic sizes are taken from [11–13].

The current state of computational technologies for the radiation transport allows accurate modeling of both the subject area and the radiation field functionals. The term “accurate modeling” means that we can put the full

Table 1

**Composition of the thyroid gland**

Elemental composition (% by mass)										
H	C	N	O	Na	P	S	Cl	K	I	Total
10.4	11.9	2.4	74.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	100

extent of our knowledge into the models we construct. This approach in practice leads to a significant narrowing of the error corridor of modeling objects of the subject area and the processes of radiation transport.

The cattle thyroid gland is modeled by a two-dimensional axisymmetric body composed of nine segments, which are obtained by axial and radial cylindrical sections. These segments are symmetrically located on the trachea and have different outer diameter and height. The symmetric segments are joined in pairs to form four radiate bodies. The fifth source simulates the isthmus.

In fig. 2 the TG sections which cover a trachea and consist of the cylindrical layers modeling a form of TG body for cow and calf are presented. Dimensions of cow’s TG were taken from [12]: for cow with weight  $\sim 500$  kg averaged values are 20.0 cm<sup>3</sup> and 20.6 g. For calves of 3-month age with weight 60 kg appearing in the experiment [9], according to [11], averaged TG volume and weight are 11.6 cm<sup>3</sup> and 12.0 g correspondingly. The TG tissue with density  $\sim 1.03$  g/cm<sup>3</sup> besides four main elements include

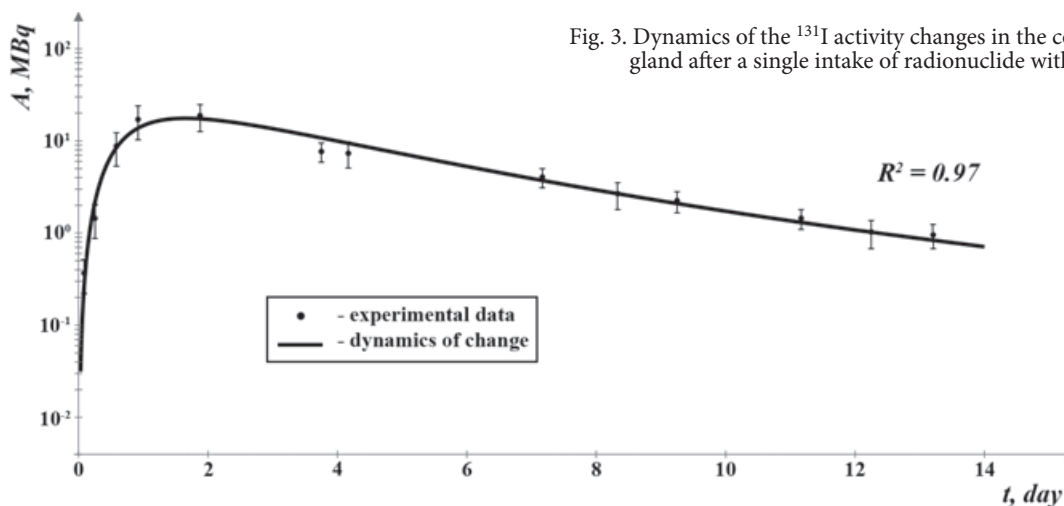


Fig. 3. Dynamics of the  $^{131}\text{I}$  activity changes in the cows’ thyroid gland after a single intake of radionuclide with feed

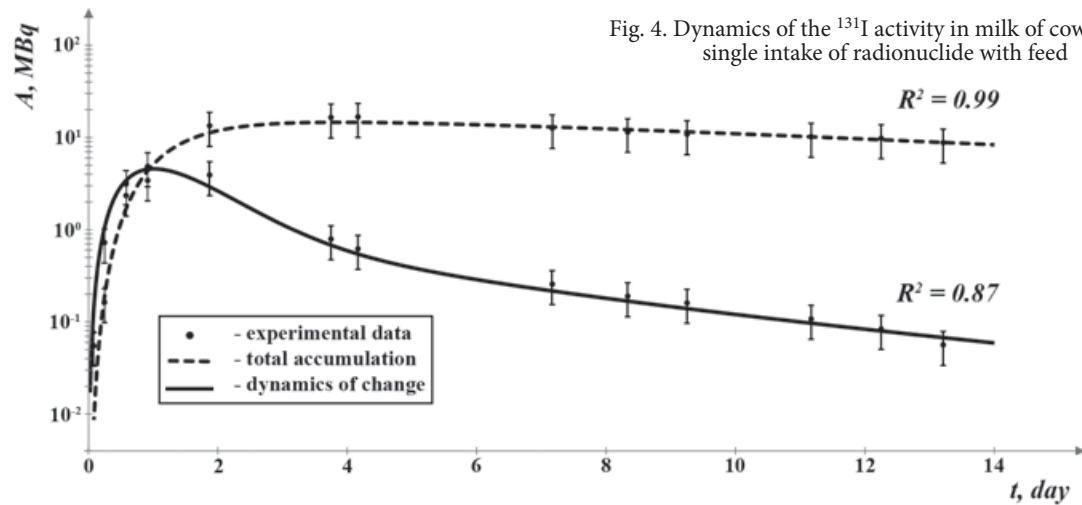


Fig. 4. Dynamics of the <sup>131</sup>I activity in milk of cows after a single intake of radionuclide with feed

the next ones: Na, P, S, Cl, K and I [13]. Iodine activity is distributed uniformly in the TG volume.

**Results and discussion**

The compartmental model’s biokinetic parameters of the <sup>131</sup>I metabolism in the cows’ body (fig. 1), obtained using experimental data [6] are presented in table 2. These parameters allowed describing the dynamics of changes in the <sup>131</sup>I content in the thyroid gland (fig. 3) and in the cow milk (fig. 4).

High values of the determination coefficients ( $R^2$ ) allow to draw a conclusion about a satisfactory agreement of the calculated and experimental data. The obtained dynamics

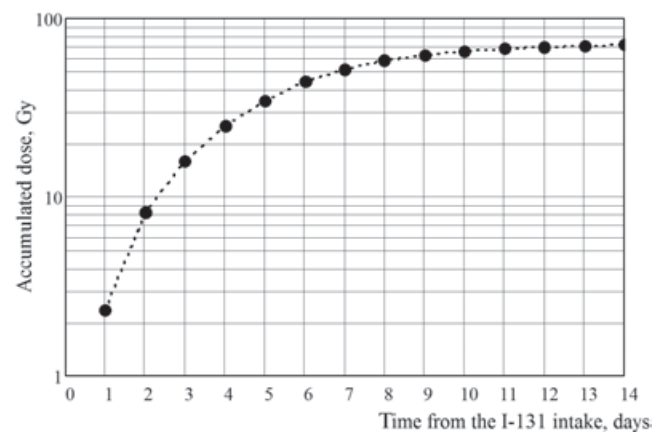


Fig. 5. The rate of dose accumulation, produced by a single intake of radionuclide (185 MBq); after 14 days accumulated dose ~ 71 Gy

Table 2

**Biokinetic parameters of the <sup>131</sup>I transport in cows’ body, d<sup>-1</sup>**

$k_{12}$	$k_{14}$	$k_{73}$	$k_{34}$	$k_{43}$	$k_{45}$	$k_{54}$
1	0.5	24	4	0.1	0.9	0.4
$k_{46}$	$k_{64}$	$k_{47}$	$k_{V1}$	$k_{V2}$	$k_{V3}$	–
1	0.1	0.5	2.5	1.5	2	–

of changes in the <sup>131</sup>I activity in the cow’s thyroid gland after a single intake of radionuclide (185 MBq) with feed (fig. 3) was used to calculate the dynamics of absorbed dose accumulation in the thyroid gland of cows (fig. 5).

It should be noted that the dynamics of changes in the <sup>131</sup>I content in the main dose-forming food product – milk (fig. 4) may be used to estimate the population doses associated with thyroid gland irradiation, for example, using mathematical models [14].

Special attention was paid to the assessment of critical values of absorbed doses causing irreversible dysfunction of the thyroid gland of cattle, observed in experimental studies [9, 15 and 16].

The task of dose calculation technically was formulated as follows:

1. Using the MCNP5 code, designed to calculate the radiation transport by Monte Carlo technique, to obtain an averaged (over nine segments) dose in the model thyroid gland with uniform volume distribution of the <sup>131</sup>I activity.

2. Time-varying <sup>131</sup>I content in the gland is determined using the compartmental model.

To calculate total dose in TG, the problems with beta – and gamma-source in each of the five bodies (fig. 2) were solved sequentially. Due to the additivity, the dose rates obtained from the two types of source were summed up taking into account mass/volume of the segments. Two components, normalized per 1 Bq: 1) the dose rate from the beta source and 2) the dose rate from the gamma source were summed to give the total dose rate, which has to be multiplied by the current <sup>131</sup>I thyroid activity. As a result, the dependence of the total dose rate on time was obtained. The integral of this dependence in the time interval from the beginning of the experiment allowed to calculate the accumulation of the current dose.

Precise calculations were carried out for a)  $\beta$ -radiation transport in TG accompanied by production secondary radiation and its further transport taking into account all processes, including generation and transport of bremsstrahlung, Auger electrons, etc.; b) transport of <sup>131</sup>I inherent  $\gamma$ -radiation, taking into account generation and transport of x-ray and fluorescent radiations, etc. Energy dissipation was monitored up to 1 keV, integral (over energy) dose dispersion was < 0.1 %.

It is shown by calculation that in these terms the contribution of  $\gamma$ -radiation produced by  $^{131}\text{I}$  inherent gamma-source (with all secondary radiations) in the total absorbed dose makes  $\sim 20\%$ . The main result of calculations was the "conversion factor" from  $^{131}\text{I}$  activity (uniformly distributed in TG) to the average absorbed dose in TG (for these conditions of irradiation):  $4.05 \times 10^{-12}$  Gy/s per 1 Bq for calves and  $2.34 \times 10^{-12}$  Gy/s per 1 Bq for cows. Accumulated dose in the calves TG, after which the TG destruction was observed, defined with use the  $^{131}\text{I}$  activity change in a TG. Solution the system of differential equations describing the iodine metabolism according to the presented compartmental model (fig. 1), by using a multifunctional interactive computing system PTC Mathcad Prime 3.1 has allowed to obtain a change in the  $^{131}\text{I}$  activity in TG after 6 daily one-time  $^{131}\text{I}$  revenues with milk in the gastrointestinal tract of calves. As a result, the dynamics of the absorbed dose accumulation in the thyroid gland of calves was calculated (fig. 6).

The value of the absorbed dose accumulated in the TG of calves for the time period through which destruction of parenchymal tissue was observed, occurred to be  $\sim 330$  Gy.

It is interesting to compare the result with the real situation in the acute period of the radiation accident at the Chernobyl NPP. In lactating cows of Khoyniki and Bragin districts in the Gomel region (the Republic of Belarus) after the Chernobyl accident in may 1986, the concentration of nuclear fission products was 3–4 orders of magnitude higher in the TG of cattle than in other organs and tissues (100–700 kBq/g).

The main factor of radiation danger during the first month after the Chernobyl accident was iodine isotopes. Their content in the mixture of release products ranged from 20 to 60 %. According to gamma-spectrometry, the content of  $^{131}\text{I}$  in samples of organs and tissues of cows in 5–12 days after the fallout was 65–90 %, and  $^{134,137}\text{Cs}$  8–30 % of the total activity. The average absorbed doses in the thyroid gland of animals from farms of Bragin and Khoyniki districts were  $65.2 \pm 22.9$  and  $164.9 \pm 34.6$  Gy, respectively [15–17].

At autopsy the slaughtered animals with maximum thyroid doses, signs of impaired thyroid structure were noted, that for the most polluted farms of Bragin and Khoyniki districts in dynamics manifested in the following way:

- during the first month a sudden impairment of circulation, hyperemia, stromal edema, hypervolemia of the capillaries of inter-follicle tissue, hemorrhage in interstitial tissue and the cavity of the follicle were observed in the TG;
- in the next 1.5–2 months the volume of the thyroid has changed, necrotic and dystrophic changes of the follicles' epithelium were founded, pyknosis of nuclei, destruction and desquamation of epithelial cells, the emergence of bands of connective tissue;
- external examination 5 months after the emergency release noted a decrease in the thyroid in volume, its seal and stratification on the cut. Histological examination revealed fibrosis of the organ;

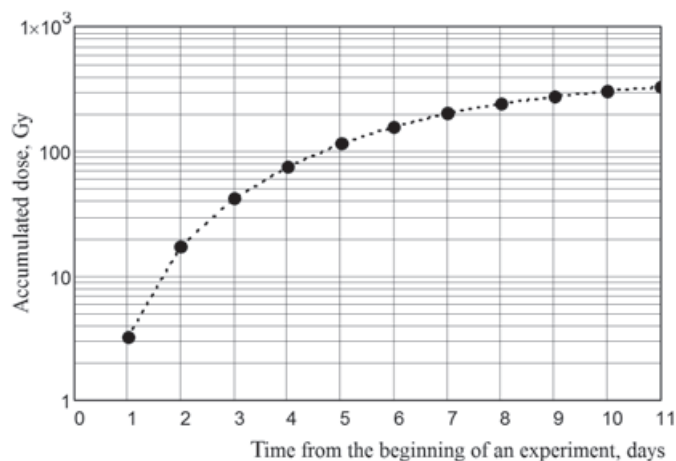


Fig. 6. The rate of dose accumulation simulated for experiment [9]; after 11 days accumulated dose  $\sim 330$  Gy

- 8 months later, atrophy of the thyroid was noted. The bands of connective tissue appeared in the thyroid location.

In the next terms, morphological changes in the TG in the degree of severity were variable in animals of different farms and areas and depended on the density of radioactive contamination of the area and the time elapsed from the beginning of the accident.

The results obtained by us consider a more severe situation due to higher values of  $^{131}\text{I}$  peroral administered activity and the formation of high levels of thyroid irradiation. Apparently, the lower limit of the dose causing very rapid (within a day) destruction of the thyroid tissue of cattle corresponds to the value of the absorbed dose obtained in this work  $\sim 330$  Gy.

### Conclusion

The received results don't contradict the dosimetric data characterizing radiobiological consequences of radiation injury of a thyroid gland ( $\sim 300$  Gy) at the person [18] and sheep [15, 16].

The submitted analysis of formation of the absorbed dose in a body of calves allows estimating the upper bound of the dose causing transient catastrophic destruction of parenchymatous tissue of thyroid gland and the source of  $^{131}\text{I}$  radiation localized in it. The intravital dosimetry of calves at a thyroid glands' region convincingly shows this process: within a day after 11–12 days of observations the dose rate decreases sharply more than in 5 times. By this time in a thyroid gland the absorbed dose is close to 300 Gy.

It should be noted that the destruction of parenchymal thyroid tissue in cattle in the area of influence of the Chernobyl accident was also noted at lower absorbed doses ( $\sim 150$  Gy), but for a longer time ( $\sim 3$ –5 months). The mentioned circumstances provide important information for the assessment of animal health in conditions of radioactive contamination of the environment by nuclear fission products.



## REFERENCES

1. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP. 2007;37(2-4):1-332.
2. Budarkov VA. Justification of cattle selection as one of the reference organisms in the system of environmental protection from radiation. Radiation Biology. Radioecology. 2009;49(2):179-85. Russian.
3. France J, Kebreab E. Mathematical Modelling in Animal Nutrition. Centre for Nutrition Modelling University of Guelph. Wallingford: Biddles Ltd, King's Lynn; 2008. 588 p.
4. Crout NMJ, Voigt G. Modeling the dynamics of radioiodine in dairy cows. J Dairy Science. 1996;79(2):254-9.
5. Smith JG, Simmonds JR. The Methodology for Assessing the Radiological Consequences of Routine Releases of Radionuclides to the Environment Used in PC-CREAM 08. HPA-RPD-058. Radiation 5. Protection Division. Chilton, Didcot, Oxfordshire; 2009. 295 p.
6. Sirotkin AN, Panchenko IYa, Tyumenev LN, et al. Comparative behavior of  $^{131}\text{I}$  in cows at different sources of its intake. In: Biological action of external and internal sources of radiation. Moscow: Medicine; 1972. p. 72-7. Russian.
7. Odeichuk AN. A generalized criterion for the effectiveness of forecasting models for time series in information systems. Bionica Intellecta. 2009;(1/70):113-9. Ukrainian.
8. Korneev NA, Sirotkin AN. Fundamentals of agricultural animals radioecology. Moscow. Energoatomizdat; 1987. 107 p. Russian.
9. Spirin EV, Lazarev NM, Sarapultsev IA. Formation of a dose of calves thyroid irradiation at  $^{131}\text{I}$  receipt with a forage. Dokl. Russian Academy of Agricultural Sciences. 2004;(4):54-5. Russian.
10. X-5 Monte Carlo Team. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I: Overview and Theory. LA-UR-03-1987; 2003. 484 p.
11. Suuroja T, Järveots T, Lepp E. Age-related morphological changes of thyroid gland in calves. Veterinarija i zootehnika. 2003;23(45):55-9.
12. Peksa Z, Trávníček J, Dušová H. et al. Morphological and histometric parameters of the thyroid gland in slaughter cattle. Agrobiology. 2011;28(1):79-84.
13. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP. 2002;32(3-4):1-277. DOI: 10.1016/S0146-6453(03)00002-2.
14. Klyopov AN, Matushevich EuS, Kurachenko YuA. Application of mathematical modeling methods in nuclear medicine. Obninsk, OGTUAE, ENIMTS "Simulation systems"; 2006. Russian.
15. Budarkov VA, Zenkin AS, Arkhipov NI, et al. Effect of iodine-131 on sheep depending on the content of stable iodine in the ration. Radiobiology. 1992;32(3):451-8. Russian.
16. Budarkov VA, Arkhipov NI, Zenkin AS, et al. The emergency release products effect of Chernobyl NPP on the thyroid gland of animals. Veterinary Medicine. 1990;(7):60-3. Russian.
17. Yastrebkov YuA, Budarkov VA, Vasilenko IYa. Estimation of absorbed doses in cattle during the first year after the Chernobyl accident. Radiat Biology. Radioecology. 1995;35(6):845-50. Russian.
18. A Toxicological Profile for Iodine. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology. USA. Atlanta, Georgia; 2004. 517 p.

**For citation:** Kurachenko YuA, Sanzharova NI, Kozmin GV, Budarkov VA, Denisova EN, Snegirev AS. Cattle's Thyroid Dose Estimation with Compartmental Model of Iodine Metabolism and Monte Carlo Transport Technique. Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63(5): 48-54.  
DOI: 10.12737/article\_5bc896ee239387.41111179

### Оценка дозы в щитовидной железе крупного рогатого скота с помощью камерной модели метаболизма йода и расчёта транспорта излучений методом Монте-Карло

Ю.А. Кураченко<sup>1</sup>, Н.И. Санжарова<sup>1</sup>, Г.В. Козьмин<sup>1</sup>, В.А. Бударков<sup>2</sup>, Э.Н. Денисова<sup>1</sup>, А.С. Снегирёв<sup>1</sup>

1. Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии (ВНИИ РАЭ). Обнинск, Россия. E-mail: ykurachenko@mail.ru; 2. Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии, пос. Вольгинский, Россия

Ю.А. Кураченко – г.н.с., д.ф.-м.н.; Н.И. Санжарова – директор ВНИИ РАЭ, д.б.н., проф., чл.-корр. РАН; Г.В. Козьмин – в.н.с., к.б.н.; В.А. Бударков – г.н.с.; д.б.н.; Э.Н. Денисова – м.н.с., аспирант; А.С. Снегирёв – м.н.с., аспирант

#### Реферат

**Цель:** Данная работа имеет целью, во-первых, повысить надёжность расчёта поглощённых доз в критических органах крупного рогатого скота при внутреннем облучении непосредственно после радиационных аварий а) путём совершенствования камерной модели метаболизма радионуклидов в организме животных; б) применением прецизионных вычислительных технологий как для моделирования предметной области, так и собственно транспорта излучений. Кроме того, целью работы является определение согласованных значений критической дозы  $^{131}\text{I}$  в щитовидной железе коров и телят, приводящей к серьёзной дисфункции железы и её последующему разрушению.

**Материал и методы:** Для достижения указанных целей выполнены комплексные исследования по уточнению параметров камерной модели, на основе достоверных экспериментальных и теоретических данных. Для моделирования предметной области (щитовидной железы и её окружения) применены воксельные технологии. Наконец, для решения уравнения переноса излучений  $^{131}\text{I}$  применена программа метода Монте-Карло, позволяющая учитывать при расчёте дозы вклад как гамма- и бета-излучений источника, так и всей цепочки вторичных излучений вплоть до полной диссипации энергии.

**Результаты:** Как главный теоретический результат, следует подчеркнуть полученный коэффициент преобразования значения активности  $^{131}\text{I}$ , распределённой равномерно по объёму щитовидной железы, в среднюю мощность дозы в железе ( $\text{Bq} \times \text{Gy/s}$ ). Этот коэффициент был рассчитан как для коров, так и для телят при выбранной конфигурации предметной области и морфологии щитовидной железы. Основным практическим результатом является надёжная оценка нижней границы поглощённой дозы в щитовидной железе, которая в короткие сроки приводит к её разрушению при внутреннем облучении  $^{131}\text{I}$  в дозе:  $\sim 300 \text{ Гр}$ .

**Выводы:** Применение камерной модели метаболизма  $^{131}\text{I}$  с биокинетическими параметрами, полученными на основе надежных экспериментальных данных, и прецизионных моделей, как собственно метаболизма  $^{131}\text{I}$ , так и транспорта излучений для оценки дозы в щитовидной железе коров и телят непосредственно после радиационной аварии позволили дать оценку нижней границы дозы облучения щитовидной железы крупного рогатого скота, приводящей к ее разрушению через несколько суток.

**Ключевые слова:** радиационная авария, коровы, телята, радиоактивный йод, инкорпорация, щитовидная железа, камерная модель, перенос излучения, поглощённая доза, метод Монте-Карло

Поступила: 02.08.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. 2007. Vol. 37. № 2–4. P. 1–332.
2. Бударков В.А. Обоснование выбора крупного рогатого скота как одного из референтных организмов в системе защиты окружающей среды от радиации // Радиационная биология. 2009. Т. 49. № 2. С. 179–185.
3. France J., Kebreab E. Mathematical Modelling in Animal Nutrition. Centre for Nutrition Modelling University of Guelph, Canada. Wallingford: Biddles Ltd, King's Lynn. 2008. 588 p.
4. Crout N.M.J., Voigt G. Modeling the dynamics of radioiodine in dairy cows // J. Dairy Sci. 1996. Vol. 79. № 2. P. 254–259.
5. Smith J.G., Simmonds J.R. (Eds) The Methodology for Assessing the Radiological Consequences of Routine Releases of Radionuclides to the Environment Used in PC-CREAM 08. HPA-RPD-058. Radiation Protection Division. – Chilton, Didcot, Oxfordshire 2009. 295 p.
6. Сироткин А.Н., Панченко И.Я., Тюменев Л.Н. и соавт. Сравнительное поведение  $^{131}\text{I}$  у коров при различных источниках поступления его в организм // В сб. «Биологическое действие внешних и внутренних источников радиации». – М.: Медицина. 1972. С. 72–77.
7. Одейчук А.Н. Обобщенный критерий эффективности моделей прогнозирования временных рядов в информационных системах // Біоніка інтелекту. 2009. № 1 (70). С. 113–119. (украин.)
8. Корнеев Н.А., Сироткин А.Н. Основы радиоэкологии сельскохозяйственных животных. – М.: Энергоатомиздат. 1987. 207 с.
9. Спирин Е.В., Лазарев Н.М., Сарапульцев И.А. Формирование дозы облучения щитовидной железы телят при поступлении  $^{131}\text{I}$  с кормом // Докл. РАСХН. 2004. № 4. С. 54–55.
10. X-5 Monte Carlo Team. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I: Overview and Theory. LA-UR-03-1987. 2003. 484 p.
11. Suuroja T., Järveots T., Lepp E. Age-related morphological changes of thyroid gland in calves // Veterinarija i zootehnika. 2003. Vol. 23. № 45. P. 55–59.
12. Peksa Z., Trávníček J., Dušová H. et al. Morphological and histometric parameters of the thyroid gland in slaughter cattle // J. Agrobiology. 2011. Vol. 28. № 1. P. 79–84.
13. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values - ICRP Publication 89. Elsevier Ltd // Ann. ICRP. 2002. Vol. 32. Issue 3–4. P. 1–277. DOI: 10.1016/S0146-6453(03)00002-2.
14. Клёпов А.Н., Матусевич Е.С., Кураченко Ю.А. Применение методов математического моделирования в ядерной медицине. – Обнинск: ОГТУ АЭ, ООО ЭНИМЦ «Моделирующие системы». 2006. 206 с.
15. Бударков В.А., Зенкин А.С., Архипов Н.И. и соавт. Влияние йода-131 на овец в зависимости от содержания стабильного йода в рационе // Радиобиология. 1992. Т. 32. № 3. С. 451–458.
16. Бударков В.А., Архипов Н.Н., Зенкин А. С. и соавт. Влияние продуктов аварийного выброса Чернобыльской АЭС на щитовидную железу животных // Ветеринария. 1990. № 7. С. 60–63.
17. Ястребков Ю.А., Бударков В.А., Василенко И.Я. Оценка поглощённых доз у крупного рогатого скота в течение первого года после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. 1995. Т. 35. № 6. С. 845–850.
18. A Toxicological Profile for Iodine. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology. USA. Atlanta, Georgia. 2004. 580 p.

**Для цитирования:** Кураченко Ю.А., Санжарова Н.И., Козьмин Г.В., Бударков В.А., Денисова Э.Н., Снегирёв А.С. Оценка дозы в щитовидной железе крупного рогатого скота с помощью камерной модели метаболизма йода и расчёта транспорта излучений методом Монте-Карло // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 48–54. DOI: 10.12737/article\_5bc896ee239387.41111179

**Б.Я. Наркевич<sup>1,2</sup>, Т.Г. Ратнер<sup>1,2</sup>, А.Н. Моисеев<sup>2,3</sup>****КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ДИСКУССИОННЫХ ТЕРМИНОВ ПО МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОЛОГИИ, РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКЕ**

1. Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ, Москва. E-mail: narvik@yandex.ru; 2. Ассоциация медицинских физиков России (АМФР), Москва; 3. ООО «Медскан», Москва

Б.Я. Наркевич – в.н.с., д.т.н., проф., президент АМФР; Т.Г. Ратнер – в.н.с., к.т.н., член правления АМФР; А.Н. Моисеев – зав. отделением мед. физики, к.ф.-м.н., член правления АМФР

**Реферат**

Проведен критический анализ терминов и понятий по медицинской радиологии, радиационной безопасности и медицинской физике в многоязычном словаре, разработанном в рамках международного проекта EMITEL2 и включенном в Энциклопедию медицинской физики, доступную через Интернет. Такой же анализ проведен и для трехязычного словаря по радиологии и радиационной физике Международной электротехнической комиссии, оформленного как ГОСТ Р МЭК 60050-881-2008. На основе результатов анализа разработан краткий англо-русский словарь дискуссионных терминов по медицинской физике, радиационной безопасности, лучевой терапии, ядерной медицине и лучевой диагностике. Основным его отличием является наличие в нем только тех терминов, дословный перевод которых с английского языка на русский язык либо вызывает лексические затруднения, либо ошибочен, либо приводит к неоднозначности термилируемых понятий. Кроме того, в словарь включены и те термины, трактовка которых является дискуссионной для специалистов-профессионалов и ошибочной для пользователей-неспециалистов.

**Ключевые слова:** медицинская радиология, радиационная безопасность, медицинская физика, проект EMITEL2, ГОСТ Р МЭК 60050-881-2008, терминология, краткий англо-русский словарь, дискуссионные термины

Поступила: 30.05.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

**Введение**

Научно обоснованная систематизация и соответствующая терминологическая система являются фундаментальным условием развития средств и методов медицинской радиологии, радиационной гигиены и медицинской физики. Этим важным вопросам наш журнал и журнал «Медицинская физика» неоднократно уделяли большое внимание, публикуя мнения и рекомендации ведущих медицинских физиков и радиологов России на своих страницах [1–6]. Однако во всех этих публикациях анализ различных аспектов данной актуальной проблемы исходил из уже сложившейся практики использования тех или иных терминов среди русскоязычных профессионалов-радиологов и медицинских физиков. В этих статьях, за частичным исключением работы [2], не было указано, что большинство трудностей, возникающих при повседневном применении терминов по медицинской физике и медицинской радиологии, обусловлено, прежде всего, некачественным и даже ошибочным переводом соответствующих английских терминов на русский язык.

Дело в том, что вследствие многолетнего отставания России от ведущих развитых стран в разработке средств и методов высокотехнологической медицинской помощи, отечественные специалисты вынуждены довольствоваться теми медико-физическими и радиологическими понятиями и терминами, которые приходят к нам с Запада, как правило, на английском языке. К сожалению, большинство таких терминов возникает там стихийно, без достаточной смысловой профессиональной проработки и зачастую с «отсебятиной», авторами которой являются фирмы-разработчики соответствующих технологий и оборудования. Далее, при их переводе на русский язык возникают дополнительные трудности уже чисто лингвистического плана, связанные как с отсутствием соответствующих

русскоязычных терминов и терминопонятий, так и с необходимостью соблюдения норм и правил русского литературного языка, принятых при общем и профильном терминопонятийном образовании.

Та же самая проблема имеет место не только при переводе англоязычных терминов на русский язык, но и при переводе их и на другие языки. С целью ее решения Международная организация медицинских физиков (ИОМФ) организовала и выполнила в 2008–2010 гг. проект EMITEL2. В его рамках была разработана Энциклопедия медицинской физики, в состав которой входит и многоязычный словарь терминов по медицинской физике и медицинской радиологии. В разработке англо-русской версии этого словаря принимали участие сотрудники Ассоциации медицинских физиков России, которая является членом ИОМФ, в том числе и авторы данной статьи. Энциклопедия и словарь на 29 языков доступны теперь через Интернет, хотя статьи в Энциклопедии написаны только на английском языке [7]. Всего словарь содержит около 5 тыс. терминов по медицинской физике, лучевой диагностике, ядерной медицине, лучевой терапии и радиационной безопасности. Однако термилируемые там понятия только переводятся на другой язык, но, как правило, их смысловое содержание не расшифровывается.

Словарь МЭК [8] имеет существенно меньший объем – всего 616 терминов, но зато практически для каждого из них приведена трактовка соответствующего понятия, принятая на международном уровне. Кроме того, уже после опубликования словарей [7 и 8] появился ряд новых радиологических терминов, связанных с новыми технологиями лучевой терапии, лучевой диагностики и ядерной медицины.

Поэтому на основе словарей EMITEL2 и МЭК, а также на основе анализа современной англоязычной радиологической литературы, мы подготовили



краткий профильный словарь, в котором приведены только те термины, дословный перевод которых с английского языка на русский язык либо вызывает лексические затруднения, либо ошибочен, либо приводит к неоднозначности термилируемых понятий, либо не соответствует общепринятым нормам русского литературного языка. Кроме того, в словарь включены и те термины, трактовка которых является дискуссионной для специалистов-профессионалов и/или плохо понимаемой для пользователей-неспециалистов. Последнее обстоятельство нам представляется особенно важным по следующей причине. Дело в том, что за последние несколько лет целый ряд понятий и соответствующих радиологических терминов мигрировал из профессиональной среды к не-профессионалам. Прежде всего, это чиновники, формирующие те или иные официальные документы по высоким медицинским технологиям и допускающие принципиальные смысловые ошибки из-за неправильного использования терминологии. И такие ошибки могут приводить и уже приводят к определенным материальным последствиям.

Ниже каждый отобранный таким образом термин сначала воспроизводится на английском языке, далее приводится его перевод на русский язык из словарей ЕМТЕЛ2 и МЭК, а для новых терминов дается наш перевод, после чего (при наличии необходимости) дается расшифровка термилируемого понятия с соответствующими комментариями, в том числе и с дискуссионными версиями перевода и трактовки.

### Словарь терминов

1. Accuracy – точность. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 для описания точности метода измерений используются два термина: «правильность» и «прецизионность». Термин «правильность» характеризует степень близости среднего арифметического значения большого числа результатов измерений к истинному или принятому опорному значению. Показателем правильности обычно является значение систематической погрешности. Использовать термин «точность» следует с особой осторожностью. Например, фраза «определение дозы облучения с точностью 5 %» является ошибочной по существу. Здесь надо говорить «измерение дозы облучения с погрешностью [не более] 5 %»
2. Active breathing control – активное управление дыханием
3. Activity concentration – в словаре МЭК дается ошибочный дословный перевод «концентрация активности». В отечественной профессиональной литературе используется более правильный термин «объемная активность», означающий активность на единицу объема радионуклидного источника
4. Afterloading – афтелодинг, загрузка источника после введения эндостата. Метод контактной лучевой терапии, когда в полость тела сначала вводят интрастат (эндостат, катетер), после чего в него вводят закрытый радионуклидный источник. Транслитерированный перевод «афтерлодинг» не рекомендуется, поскольку звук «р» при воспроизведении английского слова afterloading не произносится
5. Afterloader – гамма-терапевтический аппарат, в котором выполняется последовательное введение источника в аппликатор после установки последнего в полость или ткань
6. Air kerma strength – мощность воздушной кермы. Дословный перевод «сила (интенсивность) воздушной кермы» не рекомендуется
7. ALARA (As Low As Reasonably Achievable) – «настолько низко, насколько разумно достижимо» Основной принцип построения радиационной защиты и организации мероприятий по обеспечению радиационной безопасности. Предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных (ниже пределов, установленных действующими нормами), так и коллективных доз облучения, с обязательным учетом социальных и экономических факторов
8. Anatomic reference point – анатомическая опорная (референсная) точка
9. Annihilation radiation – аннигиляционное излучение. Возникает при аннигиляции электрона и позитрона. В соответствии с ГОСТ 15484–81 термируется как разновидность гамма-излучения
10. Asymmetric jaws – асимметричные шторки, створки (коллиматора, диафрагмы)
11. Attenuation – ослабление (но не аттенюация, такого слова нет в русском языке)
12. Automatic exposure control – автоматическое управление экспозицией
13. Background uncertainty – неопределенность измерения фона, фоновая (не исключаемая) неопределенность измерения
14. Baseline correction – поправка на смещение (пациента), коррекция опорного (референсного) значения
15. Beam flatness – равномерность (однородность) поперечного профиля пучка
16. Beamlet – условный элемент модели пучка излучения
17. Beam on time – продолжительность (пребывания) в пучке излучения
18. Beam's eye view – вид из пучка, вид в пучке, т.е. виртуальная проекция из точки, из которой исходит пучок излучения
19. Biological half life – период биологического полувыведения (полу-существования)
20. Blurring – размывание, нерезкость (изображения)
21. Body burden – полное количество (или активность) радионуклида в теле человека



22. Boost brachytherapy – дополнительное усиление (радиационного воздействия) при брахитерапии, подведение дополнительной дозы ко всей или к части мишени с помощью методов контактной лучевой терапии (брахитерапии)
23. Boost dose – дополнительная усиливающая доза
24. Bremsstrahlung – тормозное излучение. В рентгеновском диапазоне энергий фотонов его называют рентгеновским излучением. В связи с тем, что тормозное излучение имеет непрерывный спектр, у него нет однозначного значения энергии. Поэтому нужно говорить, например, «тормозное излучение 6 МВ» или «тормозное излучение с номинальной (максимальной) энергией 6 МэВ», но не «тормозное излучение с энергией 6 МэВ»
25. Bremsstrahlung contamination – «загрязнение» пучка тормозного излучения вторичными электронами
26. Build up region – область накопления дозы
27. Build up cup – дополнительная накапливающая насадка (колпачок) на ионизационную камеру для создания режима электронного равновесия
28. Build up dose – накопленная компонента дозы
29. Bulls eye image – изображение (миокарда) в формате «бычий глаз» (в полярных координатах)
30. Bystander effect – эффект свидетеля (в радиобиологии)
31. Cardiac gating – синхронизация по кардиальному циклу
32. C-arm – штатив типа С-дуга в рентгенодиагностических аппаратах для интервенционной радиологических процедур, например, ангиографии или для контроля положения интратастов при внутриполостном облучении
33. Characteristic X-ray – характеристическое излучение. Во избежание путаницы его нужно использовать без добавления термиоэлемента «рентгеновское», хотя генерация характеристического излучения и происходит в рентгеновском диапазоне энергий фотонов
34. Chronogram – гамма-хронограмма, кривая время – активность (в функциональной радионуклидной диагностике)
35. CMOS detector (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) – керамический детектор металл-оксид-полупроводник
36. Cobalt unit – гамма-терапевтический аппарат с радионуклидным источником  $^{60}\text{Co}$  (кобальт-60)
37. Coincidence imaging – визуализация (пространственного распределения) актов одновременного взаимодействия фотонов с веществом детекторов (при ПЭТ)
38. Collision kerma – компонента кермы по столкновениям
39. Collision mass stopping power – компонента массовой тормозной способности по столкновениям
40. Columnar CsI – игольчатые скintилляторы CsI (в цифровых рентгенодиагностических аппаратах)
41. Complication free tumor control – излечение от опухоли (резорбция опухоли) без осложнений
42. Commissioning – введение аппарата в (клиническую) эксплуатацию, пуско-наладочные испытания
43. Compound scan – смешанный скан, мультимодальное (совмещенное) изображение, например ПЭТ/МРТ-изображение
44. Computer aided diagnosis (CAD) – диагноз, полученный с помощью компьютера (компьютерная диагностическая «подсказка»)
45. Computer radiography (CR) – компьютерная радиография. Здесь имеет место несоответствие дословного перевода и конкретного содержания терминируемого понятия, которое на самом деле представляет собой не вообще получение радиографических изображений с помощью компьютера, а всего лишь более узкое понятие цифровой рентгенографии с помощью фотостимулируемых люминофоров
46. Contained activity – активность закрытого (источника)
47. Contingency plan – план действий в аварийной (нештатной) ситуации
48. Contrast resolution – контрастное разрешение, разрешение по контрасту рентгеновского изображения. В соответствии с ГОСТ Р 56327–2014, возможность прибора различать биологические объекты по оттенкам полутонового изображения
49. Control – контроль, управление. В английском языке два понятия «контроль» и «управление» с различным содержанием объединены единым термином в общее понятие «control», и эта многозначность приводит к путанице при его переводе на русский язык. В русском языке понятие «контроль» означает только процедуру оценки (определения, измерения) того или иного параметра, той или иной характеристики, но без вмешательства в эту процедуру с целью внесения необходимых изменений в контролируемые параметры и характеристики. Подобным изменениям соответствуют русскоязычные термины «управление», «регулирование», но не «контроль». Поэтому употребление термина, например, «локальный контроль опухоли» не соответствует нормам русского литературного языка, поскольку возникает несоответствие между общепринятым содержанием русского термина «контроль» и приписываемым ему содержанием резорбции опухоли, т.е. излечения от опухолевого поражения. К сожалению, в русскоязычных публикациях по лучевой терапии этот неправильный термин применяется все чаще, хотя при этом подразумевается собственно не контроль, например, размеров опухоли, а конечный результат радиационного воздействия на нее, т.е. результат лечения

50. Control panel – панель управления аппаратом (например, рентгеновским)
51. Controlled area – контролируемая зона, в которой требуются или могут потребоваться конкретные меры защиты или безопасности для: 1) контроля над нормальным облучением или предотвращения распространения радиоактивного загрязнения при нормальных рабочих условиях; и 2) предотвращения или ограничения масштабов потенциального облучения
52. Convolution – свертка, интегральное уравнение свертки
53. Coplanar – копланарный, т.е. метод облучения, когда оси пучков излучения находятся в одной плоскости. Альтернативно в математике существует похожий термин «компланарный», означающий фактически то же самое. Например, векторы называются компланарными, если их можно отложить в одной плоскости
54. Coronal – корональный (срез), (не путать с коронарным)
55. CTV (Clinical Tumor Volume) – клинический объем облучаемой мишени (опухоли)
56. Custom blocking – изготовление защитных блоков для конкретного пациента, т.е. по индивидуальному заказу
57. Deconvolution – обратная свертка (деконволюция), решение интегрального уравнения свертки
58. Deep inspiration breath hold technique – методика задержки дыхания на глубоком вдохе
59. Depth dose curve – кривая распределения дозы по глубине, глубинная кривая дозы
60. Depth of interaction – глубина расположения точки взаимодействия излучения с веществом
61. Diagnostic x-ray – рентгеновское излучение диагностического диапазона энергий
62. Diagnostic radiology – рентгенодиагностика. Это один из немногих случаев, когда общепринятый русскоязычный термин оказывается точнее для характеристики содержания терминируемого понятия, чем англоязычный
63. Digital subtraction angiography – цифровая разностная ангиография. Не рекомендуется употреблять термины «субтракционная» и, тем более, «дигитальная»
64. Dirty radionuclides – загрязняющие радионуклиды, загрязняющие примеси, радиоактивная «грязь»
65. Dose equivalent – эквивалент дозы (не путать с эквивалентной дозой)
66. Dual energy subtraction – вычитание изображений, полученных при двух различных энергиях излучения
67. Duty cycle – рабочий цикл
68. DVH (Dose Volume Histogram) – гистограмма доза – объем (ГДО), может быть дифференциальная (ДГДО) и интегральная (ИГДО) гистограмма
69. EPID (Electronic Portal Imaging Device) – электронное устройство портальной (т.е. непосредственно в терапевтическом пучке) визуализации
70. Error of measurement – погрешность измерения, отклонение. В соответствии с ГОСТ 16263-70 дословный перевод «ошибка измерений» относится к nereкомендуемым терминам в метрологии. В связи с этим надо говорить, например, не «среднеквадратичная ошибка измерений», а «среднеквадратическая неопределенность измерений». Понятие ошибки можно использовать только в случае описания каких-либо грубых промахов в организации и/или проведении процедуры измерений, которые можно было предотвратить еще до начала исследований
71. Event type in PET – тип события (регистрация совпадений) при ПЭТ
72. Exposure – экспозиция. В словаре МЭК означает только случайное или целенаправленное попадание излучения на биологический объект. Однако в рентгенологии означает также произведение анодного тока и времени его протекания в трубке рентгеновского аппарата и измеряется в единицах мАс
73. Exposure rate – мощность экспозиционной дозы
74. External beam irradiation – дистанционное (внешнее) облучение
75. Flat panel – плоский (цифровой) матричный детектор (например, в рентгеновских аппаратах, компьютерных томографах). Дословный перевод «плоская панель» не соответствует терминируемому понятию
76. Flat field image – планарное изображение
77. Fluence rate – мощность флюенса. В соответствии с рекомендациями МКРЕ менее предпочтителен перевод «плотность потока»
78. Fluoroscopy – рентгеноскопия. Дословный перевод «флюороскопия» возможен только в тех случаях, когда для визуализации в реальном масштабе времени используется экран, покрытый люминофором, или электронно-оптический преобразователь (усилитель рентгеновского изображения). Таким образом, флюороскопия является частным случаем рентгеноскопии
79. Flux density – плотность потока
80. Focal-plane tomography – конвенциональная (рентгеновская) томография
81. Free air ionization chamber – открытая ионизационная камера, камера со свободным доступом воздуха, бесстеночная ионизационная камера
82. Forced shallow breathing – принудительное поверхностное дыхание при дистанционном облучении, обычно достигается компрессией живота пациента

83. Fricke based gel – гель с дозиметрическим раствором Фрике
84. Gamma index – показатель различия дозовых полей для учета как абсолютных, так и геометрических различий двух дозовых распределений
85. Gate – определенный отрезок во времени или в распределении другой величины, например временной селектор, синхронизатор. Транслитерированный перевод «гейт» не соответствует нормам русского литературного языка
86. Gating – стробирование. При стробировании по времени переводится как «синхронизация», например, синхронизация по дыханию при облучении, синхронизация по кардиальному циклу при сцинтиграфии миокарда. Транслитерированный перевод «гейтинг» не соответствует нормам русского литературного языка
87. Gated acquisition – накопление данных в режиме стробирования (синхронизации)
88. Ghosting – появление повторного (ложного) изображения
89. Geometric unsharpness – геометрическая неопределенность, геометрическая нерезкость (изображения)
90. GTV (Gross Tumor Volume) – определяемый объем опухоли
91. HDR (High Dose Rate) – высокая мощность дозы
92. HDR brachytherapy – брахитерапия с высокой мощностью дозы. Термин «высокодозная брахитерапия» ошибочен по существу и его применять нельзя, правильный перевод – «брахитерапия с высокой мощностью дозы». Также плохо звучит сочетание «высокомощностная брахитерапия»
93. Helical artifact – артефакт спирального сканирования (при спиральной КТ)
94. Hypoxia targeting – маркирование гипоксии
95. ICRP (International Commission on Radiological Protection) – Международная комиссия по радиационной (но не по радиологической!) защите МКРЗ
96. ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) – Международная комиссия по радиационным единицам МКРЕ
97. Image guided radiotherapy (IGRT) – лучевая терапия с применением средств визуализации для контроля положения пациента, лучевая терапия под контролем по изображениям (ЛТКИ)
98. Intensity – интенсивность. Этот термин обозначает плотность потока энергии (излучения или частиц). В соответствии с Докладом 33 МКРЕ (1980 г.) этот термин должен переводиться как «мощность флюенса энергии», а термины «плотность потока энергии» и «интенсивность» к использованию не рекомендуются. Однако в соответствии с ГОСТ 15484–81 термин «плотность потока энергии» узаконен, тогда как термины «интенсивность» и «мощность флюенса энергии» отсутствуют вообще. Тем не менее, в ряде русскоязычных публикаций термин «интенсивность» часто употребляется благодаря его краткости и кажущейся очевидности, хотя и не всегда правильно, когда с его помощью терминируются другие физические величины и понятия, далекие от соответствия указанному здесь физическому смыслу
99. Intensity modulation arc therapy (IMAT) – дуговая лучевая терапия с модуляцией флюенса пучка излучения
100. Intensity modulation radiotherapy (IMRT) – лучевая терапия с модуляцией интенсивности (пучка) излучения (ЛТМИ). Если термин «интенсивность» здесь понимать в соответствии с ГОСТ 15484–81 как плотность потока энергии, то нужно помнить, что в практике лучевой терапии указанная модуляция производится путем изменения не энергии пучка излучения, а мощности его флюенса, т.е. числа частиц (фотонов) за единицу времени
101. Internal beam irradiation – контактное облучение
102. Internal radiation dosimetry – дозиметрия внутреннего облучения (но не внутренняя дозиметрия) от инкорпорированных радионуклидов
103. Interventional radiology – интервенционная радиология. Представляет собой проведение инвазивных процедур под контролем с использованием средств медицинской визуализации, чаще всего рентгенологических. Перевод этого термина на русский язык как «рентгенохирургия» не охватывает всего ассортимента как используемых для этой цели средств медицинской визуализации, так и самих интервенционных процедур
104. Intraoperative radiotherapy (IORT) – интраоперационная лучевая терапия (ИОЛТ)
105. Intrinsic flood field uniformity – собственная однородность поля (излучения) флуд-фантома
106. ITV (Internal Tumor Volume) – объем внутренней (-его движения) мишени
107. K-absorption edges – скачок фотопоглощения на К-оболочке атома
108. K-edge metal filter – металлический фильтр с К-скачком фотопоглощения фотонов
109. K-fluorescence – характеристическое (но не флуоресцентное!) излучение с электронной К-оболочки атома
110. Kernel based treatment planning – планирование облучения на основе определения ядра интегрального уравнения, расчет дозы с использованием метода интегральных ядер при планировании облучения
111. LDR (Low Dose Rate) – низкая мощность дозы
112. LDR brachytherapy – брахитерапия с низкой мощностью дозы. Термин «низкодозная брахитерапия» ошибочен по существу и его применять нельзя
113. Leak test – тест контроля утечки (излучения)



114. Line pair – пара линий (единица разрешения для оценки резкости рентгеновских изображений)
115. Localisation error – погрешность центрации (при укладке больного)
116. Look-up table – поиск по таблице, таблица преобразований
117. Magnet resonance spectroscopy – магнитно-резонансная спектроскопия. Использование термина «спектроскопия» здесь не соответствует существу проводимых измерений количественных параметров МР-спектра, а не только его визуализации (скопии)
118. Manual afterloading – введение источника излучения вручную после введения эндостата
119. Mask mode fluoroscopy – режим рентгенографии с маской, масочный режим рентгенографии
120. Maximum Likelihood Expectation Maximum (MLEM) – (алгоритм) максимизации математического ожидания функции максимума правдоподобия (в ОФЭКТ, ПЭТ)
121. Medical imaging – медицинская визуализация. Иногда используемые термины «имиджинг», «биоимиджинг» отсутствуют в литературном русском языке
122. MIRD Committee – Комитет MIRD, Комитет по дозам внутреннего облучения Общества ядерной медицины США
123. Molecular imaging – молекулярная визуализация. Этот термин отражает понятие, искусственно созданное для ядерной медицины в 2000-х гг. и существенно ошибочное по своей сути. Дело в том, что ни одним из существующих методов ядерной медицины (ОФЭКТ и ПЭТ) вследствие низкой разрешающей способности в принципе нельзя обеспечить визуализацию отдельных молекул в биологических тканях. Визуализируется только пространственно-временное распределение введенного в организм радиофармпрепарата в целом, а не его отдельных молекул. К сожалению, данный термин уже стал достаточно употребительным и используется в научных публикациях и даже в названиях отечественных и зарубежных журналов, очевидно, в целях конъюнктурного присвоения весьма звучного бренда
124. Molybdenum breakthrough – прорыв частиц молибдена (в радионуклидных генераторах  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ )
125. Motion compensation – компенсация движений, коррекция влияния смещений (тела пациента и / или его органов при исследовании или облучении)
126. Multi-gated acquisition – одновременное накопление данных в нескольких спектральных окнах, т.е. при различных энергиях излучения, например, при сцинтиграфии с двумя радиофармпрепаратами, мечеными разными радионуклидами
127. Multislice CT – многосрезовая компьютерная томография (КТ). К сожалению, в подавляющем большинстве медицинских работ этот термин трактуется как мультиспиральная КТ. Это не соответствует существованию терминируемого понятия, поскольку траектория перемещения жестко связанной системы излучатель – детектор в таких КТ-сканерах представляет собой единственную спираль, но с одновременной регистрацией проекционных данных по нескольким срезам. Для такой регистрации используют несколько детекторных сборок, расположенных рядом друг с другом, в связи с чем в англоязычной литературе иногда используют термин «multidetector CT», для которого допустим дословный перевод
128. Multileaf collimator – многолепестковый коллиматор (МЛК). К сожалению, этот неправильный термин повсеместно используется в русскоязычной литературе по лучевой терапии. На самом деле терминологический элемент «leaf» переводится как «лист», «створка», «пластина», но не как «лепесток». Поэтому здесь более правильным переводом должен быть «многопластинчатый коллиматор» или «многостворчатая диафрагма»
129. Narrow-beam geometry – геометрия узкого (но не карандашного) пучка излучения. Более правильно говорить «геометрия точечного мононаправленного источника излучения»
130. Normalized treatment dose – нормализованная стандартная доза (терапевтического облучения) (НСД)
131. Nuclear medicine – ядерная медицина. Содержит радионуклидную диагностику *in vivo* (в том числе и ПЭТ), радионуклидную диагностику *in vitro* и радионуклидную терапию, а также частично пересекается с интервенционной радиологией в случае использования терапевтических радиофармпрепаратов под контролем различных средств медицинской визуализации. В словаре МЭК ошибочно указывается, что ядерная медицина – область медицины, в которой радионуклиды применяются для диагностики и терапии, тогда как надо было указать, что это относится только к открытым радионуклидным источникам. К сожалению, термин «ядерная медицина» все шире неправомерно используется как в русскоязычных научных публикациях, так даже и в официальных документах, когда авторы ошибочно распространяют сферу его применения на всю медицинскую радиологию в целом, т.е. на лучевую диагностику, лучевую терапию, радиационную медицину, интервенционную радиологию и на собственно ядерную медицину. При анализе подобных публикаций и документов необходимо тщательно следить за контекстом, чтобы не допустить смысловых ошибок в понимании всего текста
132. Neutron therapy – нейтронная терапия. Более точный перевод – нейтронно-соударная терапия, т.е. терапия быстрыми нейтронами, поскольку по контексту английского оригинала обычно бывает ясно, что речь идет не вообще о лучевой терапии с



- использованием нейтронов, а только об ее указанной разновидности. Нейтронно-захватная терапия сюда не относится
133. Occupancy factor – фактор заполнения, коэффициент занятости данного помещения персоналом (при проектировании радиационной защиты)
134. Ordered Subset Expectation Maximum (OSEM) – (алгоритм) максимизации математического ожидания подсистем упорядоченных данных (при ОФЭКТ, ПЭТ)
135. Organ dose – доза (облучения), усредненная по объему органа. Допустимы варианты перевода «доза в органе» и «оргáнная доза». Однако перевод «доза на орган» не соответствует как существу термилируемого понятия, так и нормам литературного русского языка. Допустимы выражения «лучевая нагрузка на орган», но только в том случае, когда речь идет о нормальном органе, а также «лучевая нагрузка на все тело», когда речь идет о радиационном воздействии на организм в целом при использовании радиофармпрепаратов
136. Overbeaming – увеличение тока пучка (электронов в ускорителе)
137. PACS (Picture Archiving and Communication Systems) – система архивирования и передачи (медицинских) изображений (САПИ). К сожалению, в русскоязычной литературе гораздо чаще используют английскую аббревиатуру, но не русскую
138. Partial parallel imaging – параллельная визуализация по частям (тела пациента)
139. Pencil beam – узкий (но не карандашный) пучок, тонкий луч
140. Performace specification – техническое задание, технические характеристики
141. Perspex, PMMA, Lucite – плексиглас, оргстекло
142. Phosphor – люминофор, сцинтиллятор. Термин «фосфóр» к использованию не рекомендуется
143. Photo-activation therapy – фотодинамическая терапия (ФДТ)
144. Pitch – питч, шаг, наклон. В русскоязычных публикациях используется транслитерированное слово «питч». Представляет собой отношение длины перемещения стола КТ-сканера за один оборот гантри к толщине регистрируемого среза (при спиральной КТ)
145. Portal exit dosimetry – дозиметрия на выходе пучка (из тела больного) с помощью планарных детекторов излучения, например, радиохромной плёнки или электронного устройства портальной визуализации
146. Positron emission tomography – позитронная эмиссионная томография (ПЭТ). Классический пример дезориентирующего термина, получившего, к сожалению, всеобщую распространенность. На самом деле томография при ПЭТ производится путем одновременной регистрации двух аннигиляционных фотонов, возникающих вследствие акта аннигиляции позитрона и электрона в биологических тканях, которые накапливают позитронно-излучающий радиофармпрепарат. При этом сами позитроны не регистрируются, не выходя из тела пациента, из-за чего томография в принципе не может быть позитронной. Ее правильнее было бы называть двухфотонной эмиссионной компьютерной томографией по аналогии с однофотонной эмиссионной компьютерной томографией (ОФЭКТ)
147. Precision – прецизионность, точность, сходимость, воспроизводимость. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 для описания точности методов измерений используются два термина: «правильность» и «прецизионность». «Прецизионность» – степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных установленных условиях. Эта характеристика зависит только от случайных факторов и не связана с истинным или условно истинным значением измеряемой величины. Показателем прецизионности обычно является значение случайной погрешности
148. PTV (Planning Tumor Volume) – планируемый объем мишени, объем мишени для планирования облучения
149. Pulse dose rate – мощность дозы в импульсе генерируемого излучения
150. Qualified expert – квалифицированный специалист, лицензированный эксперт
151. Radiance – светимость, угловая мощность флюенса
152. Radiation energy – энергия излучения (но не радиационная энергия)
153. Radiation exposure – облучение, экспозиция излучения
154. Radiation medicine – радиационная медицина. Она включает в себя этиологию, патогенез и лечение детерминированных эффектов воздействия радиации в виде острой и хронической лучевой болезни, локальных и общих лучевых повреждений (чисто радиационных и комбинированных), а также стохастических радиационно-индуцированных поражений. Не является синонимом медицинской радиологии, поскольку представляет собой только ее составную часть
155. Radiation protection – радиационная защита, защита от излучений. Дословный перевод этого термина не соответствует термилируемому понятию, поскольку его содержание включает не только защитное экранирование потоков излучения, но и совокупность других средств и мероприятий по обеспечению радиационной безопасности. Переводить этот термин рекомендуется как «обеспечение радиационной безопасности»
156. Radiation protection adviser – советник (консультант) по радиационной безопасности

157. Radiation protection supervisor – инспектор по радиационной безопасности
158. Radiation therapy – лучевая терапия. Дословный перевод «радиационная терапия» возможен, но практически не используется. Вместо него гораздо чаще применяется термин «лучевая терапия» или «радиационная онкология». См. сокращенный термин «радиотерапия – radiotherapy»
159. Radiation shielding – защита от излучения, радиационная защита экранированием (с применением инженерных методов защиты, экранов или защитных блоков)
160. Radiographer – рентгенолаборант. Относится к среднему медицинскому персоналу, работающему на рентгеновских аппаратах
161. Radiography – рентгенография в медицине, но радиография в биологии (например, автордиография) и в промышленности
162. Radiological technologist – радиационный технолог. К сожалению, в России должности этих сотрудников подразделений лучевой терапии со средним медицинским образованием, как правило, именуют рентгенолаборантами, что не соответствует существу их работы и должностным обязанностям при проведении лучевой терапии. Дословный перевод английского термина в большей степени соответствует реальной действительности
163. Radiology – радиология. В англоязычной литературе это термин используется для обозначения только рентгенодиагностических процедур и интервенционных процедур, проводимых под рентгеновским контролем. В русскоязычной литературе термин «радиология», в том числе и «медицинская радиология», охватывает существенно более широкий круг понятий, связанных с медицинским применением источников как ионизирующих, так и неионизирующих излучений. По современным представлениям, медицинская радиология теперь включает в себя лучевую диагностику, радиационную медицину, интервенционную радиологию, ядерную медицину и лучевую терапию
164. Radiopharmacy – радиофармацевтика (но не радиофармакология). Представляет собой раздел радиохимии, посвященный получению радионуклидов, а также синтезу и наработке диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов, тогда как радиофармакология ограничивается только исследованиями их характеристик в рамках доклинических испытаний
165. Radiotherapy – лучевая терапия. Дословный перевод «радиотерапия» не соответствует реальному и общепринятому его содержанию как терапии с использованием источников только ионизирующего излучения, поскольку буквальная расшифровка такого перевода подразумевает использование для лечения источников как ионизирующего, так и неионизирующего излучения. Поэтому термин «радиотерапия» не рекомендуется к использованию в профильных научных публикациях по лучевой терапии
166. Rate – скорость, темп, доля, степень. В радиологической литературе слово rate следует понимать как темп изменения чего-либо, а не скорость пространственного перемещения. При этом в радиологической литературе практически всегда данное понятие терминируется как «мощность», например, «мощность дозы», что не совсем соответствует физическому смыслу понятия «мощность»
167. Ratemeter – измеритель скорости (счета импульсов). Часто используемый перевод этого термина как «интенсиметр» не соответствует существу процедуры подобных измерений, поскольку «интенсивность» есть произведение энергии и плотности потока излучения, тогда как реально ratemeter может измерять только плотность потока, регистрируя соответствующую скорость счета импульсов
168. Receiver operating characteristic (ROC) – операционная характеристика наблюдателя (ROC-анализ)
169. Reduction – сокращение, понижение, уменьшение, редукция. Использование термина «редукция» в смысле преобразования какой-то физической величины или формулы к другой величине или формуле имеет дезориентирующий характер
170. Reference – ссылка, упоминание, эталон, опора. Допускает сравнительно свободный перевод, например reference man – условный (референсный) человек, reference point – опорная точка. Нельзя переводить как «референтный», поскольку такое прилагательное обозначает принадлежность не к эталону, а к референту, т.е. к человеку определенной профессии
171. Remote afterloading – технология последовательного введения источника с дистанционным управлением при брахитерапии
172. Sequencing – дискретизация движения лепестков (шторок) многопластинчатого коллиматора
173. Setting accuracy – точность настройки, точность укладки (пациента)
174. Setting range – диапазон настройки
175. Set up margin – наладка, регулировка краев поля облучения, дополнительное окаймление мишени, связанное с учетом неточности укладки пациента при облучении
176. Software phantom – математический (цифровой или аналитический) фантом
177. Specific absorption rate – удельная мощность поглощения энергии (используется для оценки радиационного воздействия неионизирующего излучения, например, лазерного)
178. Specific activity – удельная (но не специфическая) активность. В словаре МЭК это трактуется как отношение активности к массе элемента, радионуклид которого рассматривается. Такое определе-

- ние носит двусмысленный характер, поскольку не поясняется о какой массе идет речь – об атомной массе или массе радионуклидного источника
179. Standard man – референсный (условный) человек (см. Публикации МКРЗ)
180. Standard uptake value (SUV) – стандартизованный показатель накопления радиофармпрепарата (в ПЭТ). К сожалению, в русскоязычной литературе чаще всего используется английская аббревиатура SUV, физический смысл которой, как правило, не расшифровывается, хотя существует несколько разных формул для определения показателя SUV
181. Stereotactic radiosurgery (SRS) – стереотаксическая радиохирургия. Ранее этот термин означал однократное прицельное облучение внутричерепных патологий и подразумевал равноценную замену хирургического лечения новым методом дистанционной лучевой терапии. Теперь в большинстве работ используется именно в этой трактовке, независимо от места облучения или количества фракций. Никакого отношения к классической хирургии термин не имеет. Терминоэлемент «стереотаксическая» является более употребительным, чем физически более правильный терминоэлемент «стереотаксическая»
182. Stereotactic radiotherapy (SRT) – стереотаксическая радиационная (лучевая) терапия (но не радиотерапия), реализуемая несколькими фракциями прицельного облучения
183. Storage phosphor – накапливающий (скрытое изображение) люминофор
184. Supervised area – наблюдаемая зона, которая еще не определена как контролируемая зона, но в которой необходимо вести наблюдение за условиями профессионального облучения, хотя, как правило, потребность в конкретных мерах защиты и безопасности отсутствует
185. Survey meters – приборы радиационного контроля
186. Tongue and groove leakage – утечка излучения через зазоры между выступами и впадинами («язычками» и «канавками») на боковых поверхностях лепестков (шторок) в многолепестковых (многопластинчатых) коллиматорах
187. Total body irradiation (TBI) – облучение всего тела
188. Tracer – индикатор, а в ядерной медицине – радиофармпрепарат. Транслитерированный перевод «трейсер» не отвечает нормам русского литературного языка
189. Tracing – отслеживание положения (смещения) опухоли (в ходе терапевтического облучения). Транслитерированный перевод «трекинг» не отвечает нормам русского литературного языка
190. Treatment planning system – система планирования лечения, как правило, дозиметрического планирования
191. Tumor control – локальная резорбция опухоли, но не контроль опухоли. См. термин «control – контроль»
192. Tumor control probability – вероятность локальной резорбции опухоли
193. Uncertainty – неопределенность. Неопределенность в соответствии с ГОСТ Р 54500.3-2011 является параметром, связанным с результатом измерения и характеризующим разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине. Термины «неопределенность» и «погрешность» не являются синонимами. В свою очередь, погрешность есть отклонение измеренного значения величины от ее «истинного» значения. При использовании терминов «погрешность» и «неопределенность» надо помнить об их следующих отличиях: погрешность относится к конкретному измерению, сделанному с помощью конкретного средства измерения, тогда как неопределенность – это степень сомнения в истинности полученного результата измерения. Погрешность характеризует систематическую компоненту неточности измерений (systematic error of measurement), а неопределенность – случайную компоненту (random measurement error)
194. Universal wedge – универсальный клин, универсальный клиновидный фильтр
195. Unsharp masking – (режим) нерезкой маски, снижение резкости изображения с помощью маски, как правило, виртуальной
196. VMAT (Rapid Arc) – ротационное (дуговое) облучение с объемной модуляцией интенсивности (пучка излучения) – один из вариантов ЛТМИ (IMRT). Дословный перевод расшифрованной аббревиатуры не соответствует реальному содержанию данного понятия. Конъюнктурный термин, к сожалению, повсеместно заменивший более правильный термин IMAT (см.)
197. Volumetric prescribing – в зависимости от контекста переводится либо как объемная топометрия, либо как объёмное предписание дозы. Последнее представляет собой предписание дозы в мишени не в одной точке, а по объёмным метрикам (средняя доза в мишени, доза полного покрытия мишени и так далее)
198. 3DCRT – трехмерная конформная лучевая терапия. Представляет собой метод облучения статическими полями с применением для планирования трёхмерных КТ-изображений тела пациента, многолепестковых (многопластинчатых) коллиматорах или индивидуальные блоков без применения методов обратного планирования
199. 4DCT – рентгеновская компьютерная томография (КТ) пациента во всех фазах его дыхания по отдельности (обычно разбивается на 10 фаз)
200. 4DRT – лучевая терапия с синхронизацией по дыхательному циклу больного, при которой автоматически выполняется соответствующая коррекция



программы облучения, в отличие от других технологий снижения амплитуды дыхательных движений, контроля дыхания или блокировки пучка (облучения в окне дыхательного цикла)

### Заключение

Мы ясно осознаем, что данный словарь «спорных» терминов далеко не полон и поэтому должен постоянно дополняться с учетом мнений других специалистов и по мере развития новых высоких медицинских технологий. Кроме того, наши трактовки тех или иных понятий и соответствующих терминов по-прежнему остаются дискуссионными.

В связи с этим хотелось бы пригласить всех заинтересованных специалистов-радиологов и медицинских физиков продолжить на страницах нашего журнала активное участие в дискуссии по классификации понятийной базы медицинской физики, медицинской радиологии и радиационной безопасности, а также по разработке соответствующей русскоязычной терминологической системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ратнер Т.Г., Воробьева Л.В. О терминах и обозначениях, применяемых в современной лучевой терапии // Мед. физика. 2014. № 4(64). С. 97–101.
2. Моисеев А.Н. Обсуждение наименований радиологических терминов // Мед. физика. 2014. № 4(64). С. 102–107.
3. Климанов В.А. К вопросу о терминологии в лучевой терапии // Мед. физика. 2014. № 4(64). С. 108–109.
4. Хорошков В.С. Радиология: кластеры и терминология // Мед. физика. 2015. № 2(66). С. 100–102.
5. Наркевич Б.Я., Ярмоненко С.П. Систематика и классификация фундаментальной и прикладной радиологии // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2008. Т. 53. № 2. С. 44–54.
6. Наркевич Б.Я. Еще раз о классификации и терминологии в радиологии // Мед. физика. 2015. № 3(67). С. 103–110.
7. Проект EMITEL2. [www.emitel2.eu/emitwvwsq/dictionary.aspx](http://www.emitel2.eu/emitwvwsq/dictionary.aspx)
8. ГОСТ Р МЭК 60050–881–2008. Международный электротехнический словарь. Глава 881. Радиология и радиологическая физика. – М.: Стандартинформ. 2009.

**Для цитирования:** Наркевич Б.Я., Ратнер Т.Г., Моисеев А.Н. Краткий словарь дискуссионных терминов по медицинской радиологии, радиационной безопасности и медицинской физике // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 55–64.

DOI: 10.12737/article\_5bc89734df8824.31259760

## Brief Dictionary of Discussion Terms on Medical Radiology, Radiation Safety and Medical Physics

**B.Ya. Narkevich<sup>1,2</sup>, T.G. Ratner<sup>1,2</sup>, A.N. Moiseyev<sup>2,3</sup>**

1. N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia. E-mail: narvik@yandex.ru;
2. Association of Medical Physicists of Russia (AMFR), Moscow, Russia; 3. Medskan, Moscow, Russia

B.Ya. Narkevich – Leading Researcher, Dr. Sci. Tech., Prof., President of the AMFR; T.G. Ratner – Leading Researcher, PhD Tech., Member of the Board of AMFR; A.N. Moiseyev – Head of Med. Physics Branch, PhD Phys.-Math., Member of the Board of AMFR

### Abstract

A critical analysis of terms and concepts in medical radiology, radiation safety and medical physics in a multilingual dictionary developed within the framework of the international project EMITEL2 and included in the Encyclopedia of Medical Physics, accessible via the Internet. The same analysis was carried out for the three-language dictionary on radiology and radiation physics of the International Electrotechnical Commission, issued as GOST R IEC 60050-881-2008. Based on the results of the analysis, a short English-Russian dictionary of discussion terms on medical physics, radiation protection, radiation therapy, nuclear medicine and radiation diagnostics was developed. Its main difference is the presence in it only of those terms, the literal translation of which from English into Russian either causes lexical difficulties, or is erroneous, or leads to ambiguity of termed concepts. In addition, the dictionary includes those terms, the interpretation of which is debatable for professional specialists and erroneous for non-specialist users.

**Key words:** *medical radiology, radiation safety, medical physics, project EMITEL2, GOST R IEC 60050-881-2008, terminology, short English-Russian dictionary, discussion terms*

### REFERENCES

1. Ratner TG, Vorobyova LV. On the terms and notations used in modern radiotherapy. Med. Physics. 2014;4(64):97-101. Russian.
2. Moiseev AN. Discussion of the names of radiological terms. Med. Physics. 2014;4(64):102-7. Russian.
3. Klimanov VA. To the question of terminology in radiotherapy. Med. Physics. 2014;4(64):108-9. Russian.
4. Horoshkov VS. Radiology: clusters and terminology. Med. Physics. 2015;2(66):100-2. Russian.
5. Narkevich BYa, Yarmonenko SP. Systematics and classification of fundamental and applied radiology. Medical Radiology and Radiation Safety. 2008;53(2):44-54. Russian.
6. Narkevich BYa. Revisited classification and terminology in radiology. Med. Physics. 2015; 3(67): 103-10. Russian.
7. The EMITEL2 project. Available from: [www.emitel2.eu/emitwvwsq/dictionary.aspx](http://www.emitel2.eu/emitwvwsq/dictionary.aspx).
8. GOST R IEC 60050-881-2008. International Electrotechnical Dictionary. Chapter 881. Radiology and Radiological Physics. Moscow: Standartinform; 2009. Russian.

**For citation:** Narkevich BYa, Ratner TG, Moiseyev AN. Brief Dictionary of Discussion Terms on Medical Radiology, Radiation Safety and Medical Physics. Medical Radiology and Radiation Safety 2018;63(5):55-64. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc89734df8824.31259760



**Б.Я. Наркевич<sup>1,2</sup>****РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ А.В. ХМЕЛЕВА «ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА: ФИЗИКА, ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ». – М.: НИЯУ МИФИ, 2018**

1. Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава РФ, Москва;
2. Ассоциация медицинских физиков России (АМФР), Москва. E-mail: narvik@yandex.ru

Б.Я. Наркевич – в.н.с., д.т.н., проф., президент АМФР

Поступила: 30.08.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

Ядерная медицина является одним из самых передовых и востребованных в мире направлений современной высокотехнологичной медицины, традиционно связанного с применением радиофармацевтических препаратов (РФП) для диагностики и лечения онкологических заболеваний, заболеваний сердечно-сосудистой системы, центральной нервной системы, эндокринной системы и т.д. Активно создаваемые сегодня центры ядерной медицины оборудуются новым дорогостоящим высокотехнологичным оборудованием, к которому, в частности, относятся циклотроны, компьютерно-управляемые радиохимические модули синтеза РФП, роботизированные диспенсеры, автоматизированные инъекторы для дозировки и введения РФП пациенту. Эти факторы обуславливают настоятельную необходимость подготовки высококвалифицированных специалистов для работы на сложнейшем оборудовании в отечественных центрах ядерной медицины. Востребованные и активно создаваемые сегодня дополнительные программы профессионального образования в этой сфере предусматривают необходимость разработки их разностороннего методического сопровождения. Поэтому трудно переоценить высокую актуальность появления книги А.В. Хмелева.

Учебное пособие «Ядерная медицина: физика, оборудование, технологии», выпущенное в 2018 г. опытным специалистом профессором, главным научным сотрудником РИНКЦЭ минобрнауки РФ, профессором РМАНПО А.В. Хмелевым, посвящено рассмотрению самых современных знаний и накопленного за многие годы опыта в области ядерной медицины и, в частности, ее нового и быстро развивающегося диагностического метода позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ). Оно предназначено для самого широкого круга читателей: врачей-радиологов, медицинских физиков, разработчиков оборудования и проектировщиков центров ядерной медицины, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, обучаемых радиологическим специальностям, медицинской физике и биомедицинской инженерии, а также слушателями курсов послепломного повышения квалификации. Наконец, оно может быть полезным в качестве библиографического источника для специалистов, работающих в ядерной медицине. Основным достоинством учебного пособия является его исчерпывающий характер. Автор книги обладает многолетним теоретическим и практическим опытом работы в области разработки ПЭТ-технологий и создания объектов ядерной медицины, а также большим педагогическим опытом работы в системе непрерывного профессионального образования. Поэтому изложение материала,



апробированного и проверенного на личном опыте автора, только повышает ценность учебного пособия.

Материал учебного пособия выстроен в последовательном его изложении – от физических основ к технологическим и техническим аспектам ядерной медицины. Учебное пособие состоит из 20 глав, разделенных на четыре части: I. Радионуклиды и излучение; II. Оборудование и технологии радионуклидной визуализации; III. Производство радионуклидов и радиофармпрепаратов для ядерной медицины; IV. Центры радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии.

Первая часть посвящена рассмотрению фундаментальных для ядерной медицины понятий – радионуклидов и излучения. Этот теоретический раздел начинается с главы «Исторический экскурс», в которой кратко и весьма последовательно описана история фундаментальных открытий радиационной физики и развития технологий и оборудования ядерной медицины, что будет весьма полезно студентам, только начинающим изучать эту многостороннюю дисциплину.

Включение в книгу главы 2 «Элементы физики атомов и атомных ядер» и главы 3 «Основы радиационной физики» является вполне обоснованным, поскольку без знания фундаментальных основ прикладной радиационной физики невозможно профессионально заниматься техническими и технологическими вопросами ядерной медицины.

Глава 4 посвящена физическим основам методов радионуклидной диагностики *in vivo* и *in vitro* и радионуклидной терапии. В той же главе рассматривается новый медицинский метод, называемый тераностикой и заключающийся в комплексном решении задач диагностики и лечения с использованием РФП, явля-

ющихся одновременно терапевтическими агентами и средством ранней диагностики. В главе 5 обсуждаются требования, предъявляемые к селекции радионуклидов для целей ядерной медицины, и их общие и специфические свойства, актуальные для применений в этой области. В ней рассматриваются ядерно-физические свойства позитронно-излучающих и гамма-излучающих диагностических радионуклидов, альфа-, бета- и Оже-эмиттеров – терапевтических радионуклидов, а также радионуклидных пар для терапистики.

Глава 6 посвящена изложению требований к РФП для диагностики и терапии, а также результатов конкретных применений ряда РФП в ядерной медицине. Особое внимание уделено наиболее часто используемому в ПЭТ-диагностике препарату – фтордезоксиглюкозе, меченной  $^{18}\text{F}$ . Материал этой главы изложен очень подробно и сопровождается наглядными иллюстрациями данных визуализации патологических очагов, полученных при диагностических исследованиях с РФП на основе  $^{18}\text{F}$ , биогенных РН и нетрадиционных ПЭТ-радионуклидов  $^{68}\text{Ga}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{89}\text{Zr}$ ,  $^{124}\text{I}$ , на основе  $\gamma$ -эмиттеров  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ , а также при контроле радионуклидной терапии препаратами, меченными  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Y}$  и  $^{177}\text{Lu}$ .

Во второй части учебного пособия рассматриваются оборудование и технологии, применяемые для радионуклидной визуализации. Так, в главе 7 обсуждаются сцинтилляционные материалы и детекторы, а также детекторные конструкции для визуализации, а в главе 8 – принципы работы, основные компоненты и характеристики традиционных гамма-камер и однофотонных эмиссионных томографов (ОФЭКТ). Детально рассмотрены особенности ОФЭКТ-сканеров для рутинного использования и специальных применений, источники погрешностей ОФЭКТ-измерений, методы коррекции ослабления излучения и влияния рассеяния излучения на результаты измерений.

Глава 9 посвящена рассмотрению принципов работы и особенностей конструкции активно внедряемых в радионуклидную диагностику ПЭТ-сканеров и гибридных ПЭТ/КТ- и ПЭТ/МРТ-сканеров. Автором детально рассмотрены функциональные характеристики и процедуры контроля качества ПЭТ-сканеров.

Данные по основам традиционного и время-пролетного методов и технологий сбора и обработки данных ПЭТ-измерений, а также по коррекции влияния побочных факторов на измерения ПЭТ, по методам реконструкции изображений и количественному анализу ПЭТ-данных представлены в главе 10. Представляет большой интерес изложение целого ряда вопросов физико-технического и радиофармацевтического обеспечения технологий ПЭТ, в решении многих из которых автор сам принимал непосредственное участие, а их результаты были опубликованы в отечественных рецензируемых журналах. Мотивация применения гибридной визуализации, процедуры и проблемы такой визуализации обсуждаются в главе 11. Представленный здесь материал изложен также понятно и системно.

В целом, оборудование и технологии радионуклидной визуализации рассмотрены во второй части учебного пособия с исчерпывающей полнотой.

Третья часть посвящена рассмотрению физико-технических аспектов производства радионуклидов и РФП для ядерной медицины. Принципы работы циклотронов, ядерных реакторов и радионуклидных генераторов, мишени, циклотронные, реакторные и генераторные системы, а также радионуклиды, производимые циклотронным, реакторным и генераторным способами и их характеристики, подробнейшим образом рассматриваются в главах 12, 13 и 14 соответственно. Проанализированы особенности производства радионуклидов указанными методами.

В главе 15 подробно описываются способы мечення РФП радионуклидами, препараты радионуклида без носителя и с носителем, оборудование, методы и технологии производства и фасовки стерильных лекарственных средств для диагностики и терапии, а также правила их производства. Важными и полезными представляются приведенные здесь не всегда легкодоступные для специалистов сведения по технологиям получения РФП традиционно применяемых как в ПЭТ, ОФЭКТ и радионуклидной терапии, так и в экспериментальных исследованиях. Порядок и методы контроля качества РФП, а также основные контролируемые их параметры хорошо и в доступной форме изложены в главе 16.

Подробный и содержательный материал, изложенный в третьей части книги на 88 страницах, включает, в том числе, и полезные для работы специалистов справочные данные и рекомендации.

Четвертая часть учебного пособия посвящена актуальным аспектам создания центров радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии. В главе 17 рассматриваются вопросы дозиметрического обеспечения таких центров. Здесь обсуждаются физические характеристики взаимодействия ионизирующих излучений с веществом, приведены значения поглощенных доз, получаемых пациентами в различных видах исследований, показаны трудности точного определения поглощенных доз облучения органов и тела пациентов с введенным РФП, получаемых ими при диагностике и терапии. В конце главы подробно рассматриваются приборы, предназначенные для измерения ионизирующих излучений и используемые в ядерной медицине в основном для контроля уровня облучения обслуживающего персонала, участвующего в проведении ее процедур.

Отдельная глава (18) посвящена последовательному рассмотрению вопросов обеспечения радиационной безопасности при эксплуатации центров радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии, которое проведено в полном соответствии с действующими отечественными нормативно-методическими документами и руководствами в этой области. Приведенный в этой главе большой объем данных начинается с рассмотрения особенностей воздействия ионизирующих излучений на биологические системы. Здесь обсуждается регламентация воздействия иони-

зирующих излучений, проводимая на основе концепции приемлемого радиационного риска и данных по фоновому облучению человека. Подробно рассмотрены проблемы радиационной защиты работающего с источниками ионизирующего излучения персонала, обеспечения радиационной безопасности пациентов и населения, обращения с радиоактивными отходами и радиационного контроля.

Уникальный материал представлен в главе 19, посвященной планированию помещений центров ядерной медицины и размещения в них оборудования. Он основан на большом личном опыте участия автора в создании нескольких отечественных ПЭТ-центров и центра ядерной медицины. Подробно рассмотрены вопросы планирования помещений циклотронного комплекса, радиохимической лаборатории, отделений радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии. Исключительно полезные сведения приводятся по планированию «чистых» помещений в составе радиохимической лаборатории, предназначенных для проведения в них производственных процессов в условиях поддержания концентрации загрязняющих веществ в пределах, установленных соответствующими нормативными документами. В этой же главе приводится методика расчета радиационной защиты помещений от излучения пациентов с введенным в организм РФП. Приведенная в этих главах информация будет крайне полезна для проектных компаний, специализирующихся на создании центров ядерной медицины.

В конце четвертой части подробно рассмотрен совершенно новый и очень важный аспект создания подразделений ядерной медицины – валидация их радиофармацевтического производства. В главе 20 обсуждаются системы и процессы, способные оказывать прямое или косвенное влияние на качество производимого лекарственного средства и подлежащие квалификации и валидации. В ней детально описывается квалификация проекта и технологического оборудования, а также «чистых» помещений. Рассматривается валидация процесса и продукта синтеза РФП для установления соответствия критериям приемки, а также используемых аналитических методик для подтверждения их специфицированных характеристик.

Материал, содержащийся в четвертой части учебного пособия, изложен автором профессионально и с высоким качеством.

В Заключении учебного пособия на основе последних литературных данных анализируются перспективы развития ядерной медицины, рассмотрены важные вопросы совершенствования применяемых в ней оборудования и методов, развития технологий производства медицинских радионуклидов, а также разработки наиболее клинически важных РФП.

В конце каждой главы учебного пособия суммируются ее основные положения, приводятся контрольные вопросы и тестовые задания для проверки усвоения содержащегося в ней материала. Для более глубокого освоения материала студентами, несомненно, будут полезны приведенные после каждой главы книги списки использованной и рекомендуемой научной и методической литературы – основной и дополнительной. В общем, рецензируемое учебное пособие хорошо структурировано, написано доступным языком, прекрасно проиллюстрировано, наполнено табличным материалом для лучшего восприятия обучающимися изложенного материала. К достоинствам учебного пособия следует отнести высокий научно-методический уровень представленного материала по физико-техническим основам ядерной медицины. При этом автор сумел изложить данный достаточно сложный материал таким образом, чтобы он, не теряя своего научного содержания, был понятен инженерам даже с минимальной базовой подготовкой по ядерной физике и технике, а также врачам-радиологам.

В целом учебное пособие «Ядерная медицина: физика, оборудование, технологии» характеризуется не только высокой актуальностью и своевременностью, но и научно-методическим уровнем, соответствующим мировым требованиям, а также имеет несомненное научное, практическое и педагогическое значение. Большой объем учебного материала может несколько затруднять его восприятие студентами высших учебных заведений, но он исключительно полезен для последипломного повышения квалификации врачей и применения ими полученных знаний в их практической деятельности, а также для других специалистов, как работающих в области ядерной медицины, так и создающих центры для ее реализации в России.

**Для цитирования:** Наркевич Б.Я. Рецензия на книгу А.В. Хмелева «Ядерная медицина: физика, оборудование, технологии». М.: НИЯУ МИФИ, 2018 // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 65–67.

DOI: 10.12737/article\_5bc89759df9677.86485798

## **Review of the book A.V. Khmelev «Nuclear medicine: physics, equipment, technologies», Moscow, 2018**

**B.Ya. Narkevich<sup>1,2</sup>**

1. N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia;

2. Association of Medical Physicists of Russia (AMFR), Moscow, Russia. E-mail: narvik@yandex.ru;

B.Ya. Narkevich – Leading Researcher, Dr. Sci. Tech., Prof., President of the AMFR

**For citation:** Narkevich B.Ya. Review of the book A.V. Khmelev «Nuclear medicine: physics, equipment, technologies», Moscow, 2018. Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63(5): 65-7. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc89759df9677.86485798



**N.K. Shandala<sup>1</sup>, M.P. Semenova<sup>1</sup>, V.A. Seregin<sup>1</sup>, A.V. Grigoryev<sup>2</sup>, M.K. Sneve<sup>3</sup>, E. Lazo<sup>4</sup>**

**The State of Art in Radiation Safety Regulation at the Nuclear Legacy Site on the Kola Peninsula of the Russian Federation: The Point of View of Russian and Foreign Experts**

1. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (FMBC) FMBA, Moscow, Russia; 2. State Atomic Energy Corporation Rosatom, Moscow, Russia; 3. Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås, Norway; 4. Nuclear Energy Agency, Paris, France

N.K. Shandala – Dr. Sci. Med., Science and Biophysics Technology Deputy Director General; M.P. Semenova Maria – Senior Researcher; V.A. Seregin – Researcher; A.V. Grigoryev – Head, International Support Projects, Dep. of International Programs and Projects in Radioactive Waste, Spent Nuclear Fuel and Decommissioning of Nuclear and Radiation Hazardous Facilities; M.K. Sneve – Director of Regulatory Programs; E. Lazo – PhD in Health Physics, Deputy Head, Radiological Protection and Human Aspects of Nuclear Safety Division

Поступила: 27.06.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

The 7<sup>th</sup> meeting of the Expert Group on Legacy Management (EGLM) of the Nuclear Energy Agency at the Organization for Economic Cooperation and Development (NEA OECD) was held between the 5<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> June 2018 in Murmansk, Russia. The objective of the meeting was to familiarize international experts with the Russian experience in remediation of nuclear legacy sites using the case study of the Andreev Bay Site for Temporary Storage (STS) of spent nuclear fuel (SNF) and radioactive waste (RW).

The following EGLM members participated in this event: Edward Lazo (NEA OECD), Malgorzata K. Sneve (Norway), Ludovic Vaillant (France), Miroslav Jurda (Czech Republic), Graham Smith (United Kingdom), Patricia Worthington (United States), Maximo Ciambrella (Italy), Nataliya Shandala (Russia).

The event was organized by the SC Rosatom jointly with FMBC.

The FMBA of Russia was represented by the Deputy Head, Chief Medical Officer over the sites and facilities serviced by the FMBA of Russia, Vladimir Romanov and Deputy Chief of the Department of the State Health and Epidemiological Supervision, Chief of the Division of the radiation safety supervision organization, Nadezhda Pothsyapun. The delegation of FMBC headed by N. Shandala, included: Anatolii Simakov – Chief of Laboratory, Yuri Abramov – Major Researcher; Vladimir Seregin – Researcher; Yuri Bragin – Senior Researcher; Konstantin Chizhov – Researcher; Aleksandr Bobrov – Chief Researcher, and Maria Semenova – Senior Researcher.

The SC Rosatom was represented by: the head of projects of the Management of International Programs in the field of RW, SNF and Decommissioning of Nuclear and Radiation Hazardous Facilities Anatolii Grigoryev and the major specialist Marina Yudina.

The professionals of the Northwest Center for Radioactive waste Management (NWC SevRAO) headed by the Director of the Andreev Bay facility Alexander Krasnoshchekov, Head of the Interregional Management 120 under the FMBA of Russia (IRM-120) Igor Kemsy and senior advisor of the Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA) Katarzyna Siegien were also active participants of the event. Local authorities and the public was represented by the Deputy Minister of the economic development of the Murmansk region Ilia Ostapchuk, the representative of the territorial body of the Ministry of Foreign Affairs Eugeniy Galkin, the Secretary in the field of

safe atomic energy use in the Murmansk region of the Public Council under the SC Rosatom Sergey Zhavoronkin.

On the first day of the work, on June 5, a meeting was held, anticipating the visit of the participants to the technical site of the Andreev Bay facility. The Secretary in the field of safe atomic energy use in the Murmansk region of the Public Council under the SC Rosatom Sergey Zhavoronkin welcomed the participants.

The response greetings were made by the EGLM Chairman Malgorzata Sneve and Scientific Secretary Dr. Edward Lazo. The presentation of M. Sneve and E. Lazo included information on the Mandate and activities of the EGLM, the description of the content and status of the first EGLM Report (60 pages of the main text and 85 pages of case studies), outlook for future EGLM activities, key lessons and recommendations.

M. Sneve and E. Lazo described the features of the EGLM, which operates the recent two years. It was mentioned that presentations of this day and coming visit to the technical site at Andreev Bay will promote demonstration, understanding and integration of the Russian experience in legacy management into the EGLM activity.

The presentation also informed about the objective of the visit to the technical site at Andreev Bay. The authors hoped that the coming visit to the technical site will make an important input to the holistic and coherent process of dealing with nuclear legacy and to the practical and harmonized approach for the regulation of nuclear and radiological legacy sites in general. Events being scheduled by the EGLM were presented to the participants.

The presentation of the leader of projects of international technical support of the Management of International Programs in the field of RW, SNF and Decommissioning of Nuclear and Radiation Hazardous Facilities Anatolii Grigoryev was devoted to the arrangement of the SNF management at Andreev Bay.

The presentation contained an extensive digression into the history of the creation of the facility after the 1982 radiation accident in the SNF storage facility, where a leakage of cooling water from the storage basins occurred. The state of the facility in the past was described, the preparation of remedial operations, work in the framework of international projects aimed at bringing the radiation situation in normal conditions and the results of these works (fig. 1).



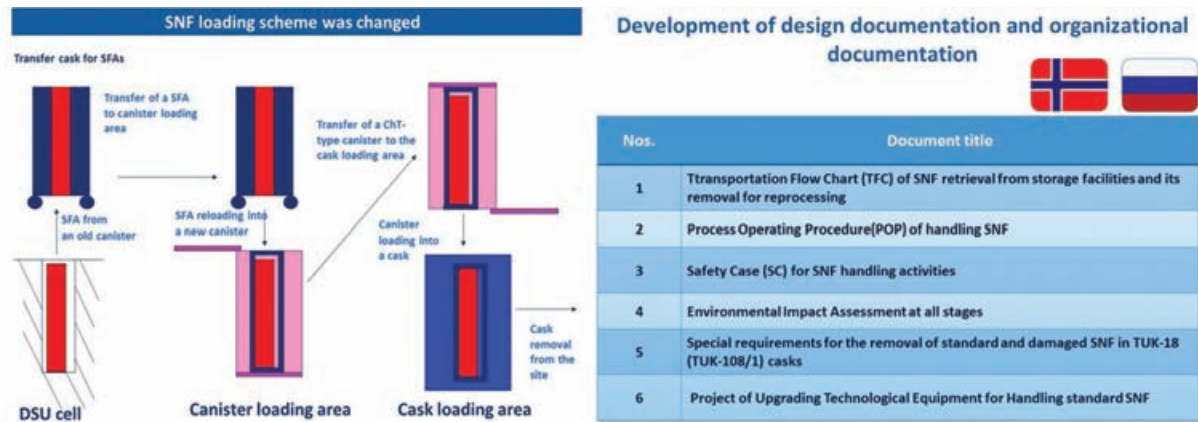


Fig. 1. The SNF loading into the dry storage unit cells and the developed design documents to support nuclear and radiation hazardous operations

New navigation in the Murmansk region was opened on the 27<sup>th</sup> June 2017. This event was connected with the SNF removal from the storage facilities at Andreev Bay. By the Director General of the SC Rosatom Alexey Likhachev.

The route of this navigation connected the largest storage facility of SNF and RW with the Atomflot territory, where the echelons that take SNF to the production association “Mayak” will be formed. The presentation of A. Grigoryev was accompanied by movies devoted to operations at Andreev Bay and bringing the radiation situation in the vicinity of the dry storage units on the Andreev Bay site into normal conditions.

The history of cooperation between the FMBA of Russia and NRPA was presented by N. Shandala, who described in detail the formation of this cooperation in 2004, when work began within three main project dealing with radiation safety and protection of workers; radiation protection of the population and environment; and emergency preparedness and response. In 2005, an initial threat assessment was made, which helped to identify the priority tasks and areas of work. In November 2008, the historical Agreement between Russia and Norway on cooperation in the field of regulatory supervision during nuclear energy use was signed (fig. 2).

Over 14 years of the cooperation, 30 research project have been completed on radiation safety regulation, including the updated threat assessment, followed by the regulation of large-scale removal of SNF during 2017–2021, subsequent transportation of the fuel to the PA “Mayak”, and

further regulation of the environmental remediation process till 2025.

Innovative scientific developments cover such directions as: the development of visualization and simulation tools; monitoring of the performance reliability of workers involved in SNF management; and environmental assessment of terrestrial ecological systems. Three emergency trainings and exercises with international participation were conducted at Andreev Bay and Gremikha village. More than 20 regulatory documents were developed and introduced. During the period of cooperation, more than 50 meetings on the ongoing projects have been held.

The outcomes of the cooperation were presented by the professionals of FMBC at 30 scientific conferences on radiation protection and safety. In conclusion, the prospects of the regulatory process of the facility in Andreev Bay and the main directions of further research work were presented.

The presentation of V. Romanov dealt with the federal state health and epidemiological supervision implemented by the FMBA of Russia and its territorial bodies in respect to institutions under the SC Rosatom. V. Romanov informed the participants about the establishment of FMBA of Russia in 2004, presented a map of location of the territorial bodies under the FMBA of Russia, list of companies and sites serviced. The participants were informed about the participation of the FMBA of Russia in the priority program “The Reform of the Control and Supervision Activity”, including the updating of mandatory requirements in the field of radiation safety and a program of prophylaxis of



Fig. 2. The initial stage of cooperation between the FMBC under FMBA of Russia and NRPA – regulatory threat assessment

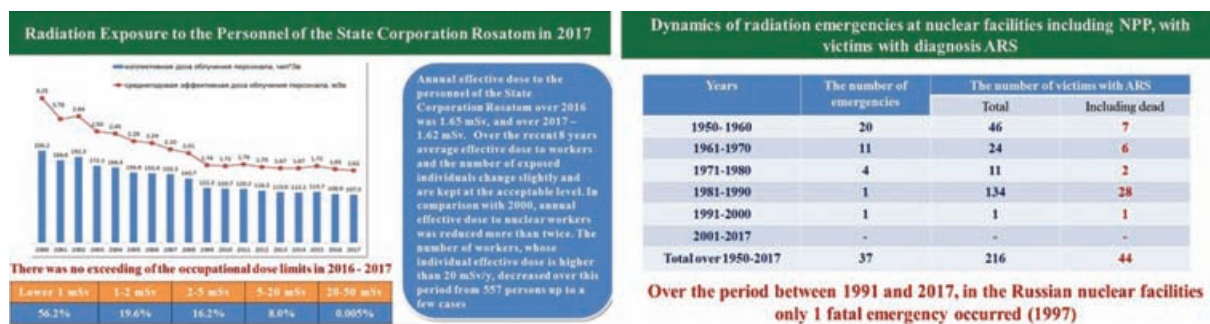


Fig. 3. Average doses to the personnel of the State Corporation Rosatom in 2017. Dynamics of radiation emergencies over the period between 1991–2017

violations of such mandatory requirements in the field of health and epidemiological wellbeing.

Data on occupational exposure at companies under the SC Rosatom over 2016 and 2017 were presented and the dynamics of radiological emergencies at nuclear facilities including the NPPs. V. Romanov mentioned that over the period between 1991 and 2017, at nuclear facilities the only one fatal emergency took place (1997) (fig. 3).

The special attention was paid to proposal of the FMBA of Russia to the draft Fundamentals of the state policy in the field of nuclear and radiation safety for the period till 2025, and the justification of the participation of the FMBA of Russia in the State Program “Social and Economic Development of the Russian Arctic Area”.

The presentation of S. Zhavoronkin dealt with the involvement of the public in the process of decision making and SNF and RW management at the Andreev Bay STS. The participants were informed about the stages of research, analysis of the problem and risks of nuclear and radiation emergencies, and the recent BELLONA’s publications were demonstrated, such as “The Atomic Andreev Bay”, “The Northern Fleet” and “The Atomic Arctics: Challenges and Decisions”. The special attention was paid to the participation of the public in the implementation of projects: public hearings, stationary and remote meetings of the Public Council under the SC Rosatom, regional and international Forum-dialogues, and organization and conducting technical tours to the sites of the Murmansk region.

The Director of the Andreev Bay SevRAO facility A. Krashoshchekov made a presentation on the development of the Russian-Norwegian cooperation program from the point of view of the Russian operator.

He described the key areas of the Russian-Norwegian cooperation over the recent 13 years (2005–2018), the main place among which take: radiation safety of the population and protection of the environment; development of remote tools, methods and criteria for monitoring of the performance reliability of workers of the companies involved in SNF and RW management (including the current monitoring of psycho-physiological conditions of persons of hazardous occupations); radiation health physics support of operations of SNF and RW removal from the Andreev Bay SevRAO site.

The presenter with satisfaction informed about the bringing of the radiation situation at the dry storage unit for the abnormal fuel (DSU 3A) in safe conditions. A.

Krasnoshchekov told about the completion of operations of collection, sorting and allocation of solid radioactive waste (SRW) for storage and conveying a batch of SRW to the Saida Bay Facility to reprocessing.

An important are of the cooperation is the development of regulatory documents to control the activity during the SNF and RW management at Andreev Bay. The professionals from FMBC play one of key roles in this sphere, when developing many regulatory documents with the Russian-Norwegian collaborative projects. The most relevant documents, among the developed ones, are: “Radiation safety during remediation of the sites of coastal technical bases (MU 2.6.6.22-05)”, “Hygienic Requirements for Radiation Safety of Workers and the Population during the Planning and Organization of SNF and RW Management at the SevRAO Branch 1 (R-GTPSevRAO-07, 2.6.1.29-07)” and some others.

The special place takes the science-based support of the use of the Information and Analytical System of Radiation Safety of Workers for the purpose of regulatory supervision of remediation operations at the Andreev Bay SevRAO facility, which is required to optimize operations of SFA discharging from DSU. The activities of FMBC within the Russian-Norwegian collaborative projects promotes the convergence of points of understanding between the regulator and the operator in the part of accomplishing the tasks.

The next part of the first working day was devoted to the description of the Russian-Norwegian collaborative projects, within which the professionals from FMBC work during 14 years, focusing on the ongoing projects.

The managers of the projects took the following presentations: A. Simakov (Radiation Health Physics Support of SNF and RW Removal from the Andreev Bay SevRAO Facility), V. Seregin (Ecological Assessment of the Environment at the Andreev Bay STS), K. Chizhov and Yu. Bragin (Scientific Support of the IAS RBP Use for the Purpose of the Regulatory Supervision of the Remediation Operations at the Andreev Bay SevRAO Facility) and A. Bobrov (Development of Remote Tools, Methods and Criteria for Monitoring of the Performance Reliability of Workers of Facilities Involved in Management of Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste) (fig. 4).

K. Siegien devoted her presentation to the approach of the Norwegian regulator to the development of the Russian-Norwegian cooperation Program. She described briefly the outcomes of the project activities and gave a





Fig. 4. The activities of the SevRAO Radiation Safety Service at the Andreev Bay site

high mark to the completed work in terms of improvement of the radiation safety regulation process for the purpose of optimization of radiation safety and protection of workers, the population and environment, enhancing the safety culture and increasing emergency preparedness and response.

The meeting was concluded by the report “Practical experience of regulation in the Andreev Bay SevRAO Facility”, presented by I.A. Kemsky. He described briefly sites and facilities under the service of IRM-120 and then presented data on gamma dose rates in the area of the SevRAO impact and average annual individual effective dose to the personnel A group. The presentation describes the results of the determination of concentrations of manmade radionuclides in seawater and preliminary estimation of the drinking water quality in terms of the radiation safety parameters (fig. 5).

Based on these data and information about the natural population growth in the serviced region the conclusion was made that the remedial activity at the sites of the former coastal technical bases of the Northern Fleet and generation of conditions to store radioactive waste of the NWC SevRAO as at 2018 does not have a significant impact either on the environmental media, nor on the medical and demographic indicators and health indicators of the population.

The presenter considers it expedient to bring to the enterprises of the SC Rosatom and shipyards information about the developments of FMBC.

On the second day of the event, on June 6, a visit was made to the technical site of the Andreev Bay SevRAO facility. Before arriving at the former coastal technical

base of the Russian Navy, the participants stopped in the area of the right bank of the Zapadnaya Litsa, 70 km from Murmansk, where a dramatic memorial complex “Valley of Glory” was built on the site of the tragic and heroic battles of the Great Patriotic War, dedicated to the defeat of the German fascist troops in the Arctic. The Russian and foreign participants laid flowers to the complex of the military cemetery – the burial place of 6000 soldiers and officers who valiantly fought in the Murmansk direction, so that the enemy did not go further, deep into the country.

Upon arrival to the site in Andreev Bay, a briefing was held, after which, disguised as overalls, the participants arrived in the area of the demonstrated buildings and the stationary berth. The SevRAO prepared a program of movement through the site and survey of buildings and structures in advance.

During the technical tour at the STS site, a complex for SNF management (Building of the DSU sheltering – Building 153) was demonstrated. The Building 153 is intended to assure the safe SNF unloading from the DSU cells and the SNF loading to the transport radiation shield containers during the entire year. The Building 153 is a two-span heated building with an annex.

The existing DSU canisters, in the cells of which the cases with SFA are enclosed, one case in each cell, are located in the technological hall of the Building, and the DSU units 2A and 2B are in one span of the Building, and the unit 3A in the other. Moving of the reloading container and cases between the technological hall and the annex is done by means of a transfer trolley.

To assure radiation safety of the personnel and environmental media against potential contamination

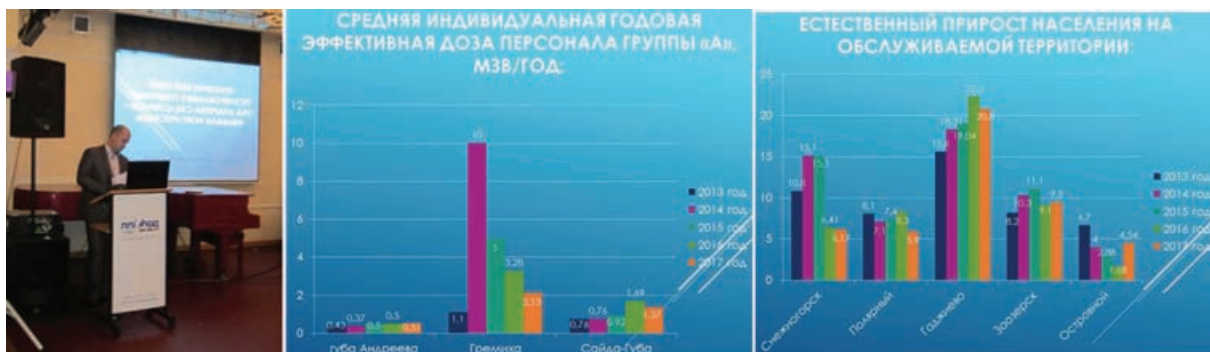


Fig. 5. Activities of IRM-120 under FMBA of Russia in the field of SevRAO radiation safety supervision. Doses to the A group personnel and demographic characterization of the population



in the Building 153, 2 areas are envisaged: periodically serviced premises intended for unloading SFA, collection and unloading of RW and the premises of permanent personnel stay throughout the whole shift. The sanitary pass (decontamination unit) is located between the premises of the first and the second areas.

The group visited the management post for SNF unloading operations. The SFA extraction post from the storage cells 2A with the reloading unit, the SNF re-shipment post and the loading point of the TPC was demonstrated. The TPC loading unit is located in the annex of the Building 153.

The technological operations such as preparation of containers for loading with SNF cases, loading of cases with SFA with the help of a reloading container and preparation of the loaded container for removal from the Building to the storage site by means of an automobile container carrier with the carrying capacity 50 t are carried out in the loading unit.

The infrastructure for assuring the radiation safety of the personnel was also shown (modular sanitary pass in the DSU area (Building 160), post of dose monitoring), special transport for transportation of transport packaging containers and a storage site for storage of TPC (Building 151).

The storage site of the TPC (Building 151) is designed for receiving from a container vessel and temporary storage of empty TPCs, and receiving and temporarily storing TPCs loaded with SNF. The storage site is designed to accommodate 48 TPCs (loaded or empty). The storage site is equipped with a bridge crane with a lifting capacity of 50 tons.

Also, auxiliary infrastructure facilities for management of spent nuclear fuel were shown, such as a diesel power plant (Building 13), the Building 154, intended for repair and decontamination of equipment.

After inspecting the infrastructure for SNF management in the premises of the training center, the members of the EGLM group were demonstrated software developed by the FMBC .



Fig. 6. Group photo of the participants of the EGLM meeting

The participants got acquainted with the operation of the information and analytical system for radiation safety of the personnel, the 3D radiation visualization software Andreeva planner and the programs of pre-shift psycho-physiological monitoring of the personnel.

On the third day, June 7, the participants of the event, both members of EGLM, and the Russian specialists exchanged general impressions of the site visit. Each member of EGLM had the opportunity to express their impressions and ask questions to Russian specialists. The initial need for regulatory flexibility due to uncertainty was discussed:

- Performance-based rather than prescriptive;
- “Turning point” when site becomes “within standard regulatory framework”;
- Workers: Planned Exposure Situation;
- Public: Existing Exposure Situation.

The science based support was mentioned, including:

- Uncertainty-driven process;
- Identify issue / problem;
- Study situation;
- Develop way Forward;
- Issue new regulations if needed.

The significance of Innovative Science was stressed, including Dose Modelling, Characterisation assessment, Sensitive-job worker assessment.

In conclusion, as one of the lessons learned Multidisciplinary Nature of regulation was discussed. Each regulation parameter should be taken into account fully, especially interms of threats: Radiological, Chemical, Nuclear, Environmental, Physical. Simultaneous consideration of all such threats is needed to identify the optimum solution. Need a structural, multi-disciplinary framework to assure appropriate assessment of risks, and development of management approaches.

At the end of this event, a meeting of EGLM members was held, devoted to the formation of recommendations on regulation taking into account international experience, drawing up the table of contents of the report, supplemented by the visit to the technical site, and the results of the meeting were summed up. Finally, the 7<sup>th</sup> EGLM meeting was completed (fig. 6).

In addition, within the event, at the second part of the day, on the 7<sup>th</sup> June, the bilateral meeting on the progress in the ongoing projects of cooperation between FMBC and NRPA was held.

The progress in the current tasks was discussed along with difficulties aroused, plans for the nearest months, and proposals of new collaborative projects for coming two years. Based on the outcomes of the bilateral meeting the protocol was signed including information on the ongoing projects and plans for the period 2019–2020.

**For citation:** Shandala NK, Semenova MP, Seregin VA, Grigoryev AV, Sneve MK, Lazo E. The State of Art in Radiation Safety Regulation at the Nuclear Legacy Site on the Kola Peninsula of the Russian Federation: The Point of View of Russian and Foreign Experts. Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63(5):68-72. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc897a2103903.64046796

DOI: 10.12737/article\_5bc897a2103903.64046796

**Н.К. Шандала<sup>1</sup>, М.П. Семенова<sup>1</sup>, В.А. Серегин<sup>1</sup>, А.В. Григорьев<sup>2</sup>, М.К. Сневе<sup>3</sup>, Э. Лазо<sup>4</sup>****СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТЕ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: ТОЧКА ЗРЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЭКСПЕРТОВ**

1. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России; 2. Госкорпорация «Росатом»; 3. Государственное управление Норвегии по ядерной и радиационной безопасности; 4. Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития

Н.К. Шандала – д.м.н., зам. генерального директора по науке и биофизическим технологиям; М.П. Семенова – с.н.с.; В.А. Серегин – н.с.; А.В. Григорьев – руководитель проектов МТПУправления международных программ и проектов в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО; М.К. Сневе – директор программ сотрудничества; Э. Лазо – к.м.н., зам. начальника Дивизиона радиологической защиты и человеческих аспектов ядерной безопасности

Поступила: 27.06.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

В период 5–7 июня 2018 г. в Мурманске состоялось заседание Экспертной группы по управлению наследием (EGLM) Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ ОЭСР). Целью мероприятия было ознакомление международных экспертов с опытом Российской Федерации по реабилитации объектов ядерного наследия на примере пункта временного хранения (ПВХ) отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева.

В данном заседании приняли участие следующие члены EGLM: Эдвард Лазо (АЯЭ ОЭСР), Малгожата Сневе (Норвегия), Людовик Вайан (Франция), Мирослав Джурда (Чехия), Грэм Смит (Великобритания), Патрисия Ворингтон (США), Массимо Чиамбрелла (Италия), Н.К. Шандала (Россия).

Мероприятие было организовано ГК «Росатом» и ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. В мероприятии приняли участие представители ФМБА России: заместитель руководителя, главный санитарный врач по обслуживаемым объектам и обслуживаемым территориям В.В. Романов и заместитель начальника Управления госсанэпиднадзора – начальник отдела организации надзора за радиационной безопасностью Н.П. Поцяпун. В состав делегации ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, возглавляемой Н.К. Шандалой, входили: А.В. Симаков – заведующий лабораторией; Ю.В. Абрамов – ведущий научный сотрудник; В.А. Серегин – научный сотрудник; Ю.Н. Брагин – старший научный сотрудник; К.А. Чижов – научный сотрудник; А.Ф. Бобров – главный научный сотрудник; и М.П. Семенова – старший научный сотрудник.

От ГК «Росатом» в мероприятии участвовали руководитель проектов Управления международных программ в области радиоактивных отходов (РАО), отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и выведения из эксплуатации ядерных и радиационно-опасных (ВЭ ЯРОО) А.В. Григорьев и ведущий специалист М.Ю. Юдина.

Активными участниками мероприятия явились также специалисты Северо-западного центра по обращению с радиоактивными отходами СЦЗ «СевРАО» во главе с директором отделения губы Андреева СЦЗ «СевРАО» А.Н. Краснощековым, руководитель Межрегионального управления № 120 ФМБА России И.А. Кемский, старший советник Государственного

управления Норвегии по ядерной и радиационной безопасности (NRPA) Катаржина Сегень. Местные органы власти и общественность представляли заместитель министра экономического развития Мурманской области И.Н. Остапчук, представитель территориального органа Министерства иностранных дел России Е.Г. Галкин, секретарь Общественного совета ГК «Росатом» по вопросам безопасного использования атомной энергии в Мурманской области С.Н. Жаворонкин.

В первый день работы, 5 июня, состоялось совещание, предварявшее посещение участниками мероприятия технической территории СЦЗ «СевРАО» в губе Андреева. Участников приветствовал секретарь Общественного совета ГК «Росатом» по вопросам безопасного использования атомной энергии в Мурманской области С.Н. Жаворонкин.

С ответным приветствием выступили председатель EGLM Малгожата Сневе и ученый секретарь EGLM д-р Эдвард Лазо.

В докладе М. Сневе и Э. Лазо была представлена информация о мандате и деятельности EGLM, содержании и состоянии первого отчета Группы (60 страниц основного текста и 85 страниц описания исследований на конкретных площадках наследия), перспективах будущей деятельности, основных уроках и рекомендациях. М. Сневе и Э. Лазо рассказали об особенностях работы EGLM, которая функционирует последних 2 года. Было отмечено, что презентации текущего дня и предстоящее посещение технической территории в губе Андреева призваны способствовать демонстрации, пониманию и включению опыта Российской Федерации по обращению с наследием в деятельности EGLM.

В докладе сообщалось также о целях посещения технической территории предприятия в губе Андреева. Была высказана надежда, что предстоящий визит на техническую территорию внесет вклад в холистический и всеобъемлющий процесс обращения с ядерным наследием и в создание практичного и гармонизированного подхода для управления объектами ядерного и радиологического наследия в целом. Участникам были представлены предстоящие мероприятия, запланированные EGLM.

Доклад руководителя проектов международной технической помощи Управления международных программ и проектов в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО

Госкорпорации «Росатом» А.В. Григорьева был посвящен системе обращения с ОЯТ в губе Андреева.

Доклад содержал расширенный экскурс в историю создания объекта после радиационной аварии 1982 г. в хранилище ОЯТ, где произошла утечка охлаждающей воды из бассейнов хранения. Было описано состояние объекта в прошлом, подготовка работ по реабилитации, работы в рамках международных проектов, направленные на нормализацию радиационной обстановки, и результаты этих работ.

27 июня 2017 г. была открыта новая навигация в Мурманской области, связанная с вывозом ОЯТ из хранилищ губы Андреева. Эту навигацию открыл Генеральный директор Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачев.

Маршрут этой навигации связал самое крупное хранилище ОЯТ и РАО с территорией «Атомфлота», где будут формироваться эшелоны, увозящие ОЯТ на производственное объединение «Маяк». Доклад А.В. Григорьева сопровождался демонстрацией фильмов о работах в губе Андреева и о нормализации радиационной обстановки в районе расположения блоков сухого хранения на территории губы Андреева.

История сотрудничества ФМБА России и NRPA была представлена в докладе Н.К. Шандалы, подробно описавшей становление сотрудничества в 2004 г., когда начиналась работа в рамках трех основных проектов, посвященных обеспечению радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды, а также аварийной готовности и реагированию. В 2005 г. была проведена предварительная оценка угроз, по результатам которой были выявлены приоритетные задачи и направления работы. В ноябре 2008 г. было подписано историческое соглашение между Россией и Норвегией о сотрудничестве в области проведения регулирующего надзора при использовании атомной энергии.

В течение 14 лет сотрудничества выполнено 30 научно-исследовательских проектов по регулированию радиационной безопасности, включая обновленную оценку угроз, после которой следующим этапом станет регулирование процесса широкомасштабного вывоза ОЯТ в течение 2017–2021 гг., последующая транспортировка топлива на ПО «Маяк», а также дальнейшая работа по регулированию процесса экологической реабилитации территории вплоть до 2025 г.

Инновационные научные достижения охватывают такие направления, как: разработка средств визуализации и моделирования; контроль профессиональной надежности персонала, участвующего в операциях по обращению с ОЯТ; оценка экологического состояния наземных экосистем. Проведено 3 противоаварийных учения и тренировки с международным участием в губе Андреева и поселке Гремиха. Разработано и внедрено более 20 регулирующих документов. За годы сотрудничества проведено более 50 совещаний по действующим проектам.

Результаты сотрудничества освещались специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России на 30 научных конференциях по тематике радиационной защиты и безопасности. В заключение были представлены перспективы процесса регулирования объекта

в губе Андреева и основные направления дальнейших научно-исследовательских работ.

С докладом о федеральном государственном санитарно-эпидемиологическом надзоре, осуществляемом ФМБА России и его территориальными органами в отношении организаций Госкорпорации «Росатом», выступил В.В. Романов. Он сообщил об учреждении в 2004 г. ФМБА России, привел схему размещения территориальных органов ФМБА России, перечень обслуживаемых организаций и территорий. Была представлена информация об участии ФМБА России в приоритетной программе «Реформа контрольной и надзорной деятельности», включая корректировку обязательных требований в области радиационной безопасности и программы профилактики нарушений таких обязательных требований в области санитарно-эпидемиологического благополучия.

Были приведены данные об облучении персонала на предприятиях Госкорпорации «Росатом» за 2016 и 2017 гг., динамика радиационных инцидентов на объектах атомной отрасли, включая АЭС. Отмечалось, что за период с 1991 по 2017 гг. на предприятиях атомной отрасли произошел лишь один инцидент с летальным исходом (1997 г.).

Особое внимание уделялось предложениям ФМБА России о включении в проект принципов государственной политики в области ядерной и радиационной безопасности России на период до 2025 г., а также обоснованию участия ФМБА России в государственной программе «Социально-экономическое развитие Арктической зоны России».

Участие общественности в процессе принятия решений и обращения с ОЯТ и РАО на пункте временного хранения ПВХ в губе Андреева был посвящен доклад С.Н. Жаворонкина. Докладчик проинформировал аудиторию об этапах исследования, анализе проблемы и рисках возникновения ядерных и радиационных инцидентов, проиллюстрировав свое выступление недавними публикациями компании BELLONA «Атомная губа Андреева», «Северный флот» и «Атомная Арктика: проблемы и решения». Особое внимание уделялось участию общественности в реализации проектов, а именно общественным слушаниям, стационарным и выездным заседаниям Общественного совета Госкорпорации «Росатом», проведению региональных и международных форум-диалогов, а также организации и проведению технических туров на объекты Мурманского региона.

Директор отделения губы Андреева СЗЦ «СевРАО» А.Н. Краснощеков выступил с сообщением о развитии программы российско-норвежского сотрудничества с точки зрения российского оператора. Были описаны основные направления российско-норвежского сотрудничества за последние 13 лет (2005–2018 гг.), основное место среди которых занимают: радиационная безопасность населения и защита окружающей среды; разработка дистанционных средств, методов и критериев контроля профессиональной надежности персонала предприятий по утилизации ОЯТ и РАО (включая текущий контроль психофизиологического состояния лиц опасных профессий); радиационно-гигиеническое



сопровождение работ по удалению ОЯТ и РАО в отделении губы Андреева СЗЦ «СевРАО».

Докладчик с удовлетворением проинформировал о нормализации радиационной обстановки в емкости ЗА блока сухого хранения некондиционного топлива (БСХ ЗА). Сообщалось о выполнении работ по сбору, сортировке и размещению ТРО на хранение и отправке партии ТРО в отделение Сайда-Губа на переработку.

Важным направлением сотрудничества является разработка нормативно-правовых документов, регламентирующих деятельность по обращению с ОЯТ и РАО в губе Андреева. Одну из ключевых ролей в этой сфере играют специалисты ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, разработавшие немало регулирующих документов в рамках проектов российско-норвежского сотрудничества. Среди разработанных регулирующих документов особо актуальными являются: «Обеспечение радиационной безопасности при проведении работ по реабилитации территории береговых технических баз (МУ 2.6.6.22-05)», «Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при проектировании и организации работ с ОЯТ и РАО в Филиале №1 ФГУП «СевРАО» (Р-ГТП СевРАО-076 З 2.6.1.29-07)» и ряд других.

Особое место занимает научное сопровождение работ по использованию информационно-аналитической системы радиационной безопасности персонала в целях регулирующего надзора за реабилитационными работами в отделении губы Андреева СЗЦ «СевРАО», необходимое для оптимизации работ по выгрузке отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС) из БСХ. Деятельность ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в рамках проектов российско-норвежского сотрудничества способствует сближению точек понимания между регулятором и оператором в части выполнения стоящих задач.

Следующая часть первого дня работы была посвящена описанию проектов российско-норвежского сотрудничества, по которым работали специалисты ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в течение 14 лет, причем основное внимание уделялось текущим проектам.

С докладами выступили менеджеры проектов: А.В. Симаков («Радиационно-гигиеническое сопровождение работ по удалению ОЯТ и РАО в отделении губа Андреева СЗЦ «СевРАО»), В.А. Серегин («Оценка экологического состояния окружающей среды на ПВХ в губе Андреева»), К.А. Чижов и Ю.Н. Брагин («Научное сопровождение работ по использованию ИАС РБП в целях регулирующего надзора за реабилитационными работами в отделении СевРАО в губе Андреева») и А.Ф. Бобров («Разработка дистанционных средств, методов и критериев контроля профессиональной надежности персонала предприятий по утилизации отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов»).

О подходе норвежского регулятора к развитию программы российско-норвежского сотрудничества доложила Катержина Сегень. Кратко описав результаты деятельности по проектам, К. Сегень дала высокую оценку проведенной работы с точки зрения совершенствования процесса регулирования радиационной без-

опасности в целях оптимизации радиационной защиты персонала, населения и окружающей среды, укрепления культуры радиационной безопасности и повышения аварийной готовности и реагирования.

Совещание завершал доклад «Практический опыт регулирования в отделении губы Андреева СЗЦ «СевРАО», представленный И.А. Кемским. Дав краткое описание объектов и территорий, находящихся в сфере обслуживания МРУ-120, И.А. Кемский представил данные по мощности дозы гамма-излучения в зоне влияния объектов «СевРАО» и средней индивидуальной годовой эффективной дозы персонала группы «А». В докладе были представлены результаты определения содержания техногенных радионуклидов в морской воде и предварительной оценки качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Опираясь на эти данные и информацию о естественном приросте населения на обслуживаемой территории, был сделан вывод о том, что деятельность по реабилитации территории бывших береговых технических баз Северного Флота и создание условий по хранению радиоактивных отходов СЗЦ «СевРАО» по состоянию на 2018 г. не оказывает значимого влияния ни на объекты внешней среды, ни на медико-демографические показатели и показатели здоровья населения.

Докладчик считает целесообразным довести до предприятий Госкорпорации «Росатом» и судоремонтных предприятий информацию о наработках специалистов ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Во второй день мероприятия, 6 июня, состоялось посещение технической территории отделения губы Андреева СЗЦ «СевРАО». Перед тем, как прибыть на бывшую береговую базу ВМФ России, участники мероприятия остановились в районе правого берега реки Западная Лица в 70 км от Мурманска, где на месте трагических и героических боев Великой Отечественной войны возведён мемориальный комплекс «Долина Славы», посвящённый разгрому немецко-фашистских войск в Заполярье. Российские и зарубежные участники возложили цветы к комплексу воинского кладбища – месту захоронения 6 тыс. солдат и офицеров, доблестно воевавших на Мурманском направлении, чтобы враг не прошел дальше, вглубь страны.

По прибытии на площадку объекта в губе Андреева был проведен краткий инструктаж, после чего, переодевшись в спецодежду, участники прибыли в район демонстрируемых зданий и стационарного причала. Предприятие «СевРАО» заранее подготовило программу передвижения по территории и осмотра зданий и сооружений.

Во время технического визита на территории ПВХ был продемонстрирован комплекс по обращению с ОЯТ (сооружение укрытия БСХ – здание 153). Здание 153 предназначено для обеспечения безопасной выгрузки ОЯТ из ячеек БСХ и его загрузку в транспортные радиационно-защитные контейнеры в течение всего года. Здание 153 представляет собой двухпролетное отапливаемое сооружение с пристройкой.

Существующие емкости БСХ, в ячейках которых находятся чехлы с ОТВС, по одному в каждой ячейке, размещаются в технологическом зале здания, при этом емкости 2А и 2Б БСХ находятся в одном пролете зда-

ния, а ёмкость 3А – в другом. Перемещение перегрузочного контейнера и чехлов между технологическим залом и пристройкой производится с помощью передающей тележки.

Для обеспечения радиационной безопасности персонала и объектов окружающей среды от возможного загрязнения в здании 153 предусмотрено 2 зоны: периодически обслуживаемые помещения, предназначенные для выгрузки ОТВС, сбора и выгрузки РАО и помещения постоянного пребывания персонала в течение всей смены. Между помещениями первой и второй зоны находится стационарный саншлюз.

Группа посетила пост управления работами по выгрузке ОЯТ. Был продемонстрирован пост извлечения ОТВС из ячеек хранилища 2А с перегрузочным агрегатом, пост перечехловки ОЯТ и пост загрузки транспортно-упаковочных контейнеров (ТУК). Пост загрузки ТУК расположен в помещении пристройки здания 153.

В посту загрузки выполняются такие технологические операции как подготовка контейнеров к загрузке чехлами с ОЯТ, загрузка чехлов с ОТВС с помощью перегрузочного контейнера и подготовка загруженного контейнера к вывозу из здания на накопительную площадку с помощью автомобильного контейнеровоза грузоподъемностью 50 т.

Также были показаны инфраструктура по обеспечению радиационной безопасности персонала, в т.ч. модульный санпропускник в районе БСХ (здание 160), пост дозиметрического контроля, спецтранспорт для перевозки транспортных упаковочных контейнеров и накопительная площадка для хранения ТУК (здание 151).

Накопительная площадка ТУК (здание 151) предназначена для приема с судна-контейнеровоза и временного хранения порожних ТУК, приема и временного хранения ТУК, загруженных ОЯТ. Накопительная площадка рассчитана на размещение в ней 48 ТУК (загруженных или порожних). Накопительная площадка оборудована мостовым краном грузоподъемностью 50 т.

Кроме того, были показаны вспомогательные объекты инфраструктуры по обращению с ОЯТ, такие как дизельная электростанция (здание 13), здание 154, предназначенное для ремонта и дезактивации оборудования.

После осмотра инфраструктуры по обращению с ОЯТ в помещении учебного центра специалистам группы EGLM было продемонстрировано программное обеспечение, разработанное ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в рамках проектов российско-норвежского сотрудничества.

Участники ознакомились с работой информационно-аналитической системы по обеспечению радиационной безопасности персонала, программы трехмерной визуализации радиационной обстановки Andreevarplanner и программ предсменного психофизиологического контроля персонала.

В третий день, 7 июня, участники мероприятия – как члены EGLM, так и российские специалисты – обменивались общими впечатлениями от посещения объекта. Каждый член EGLM имел возможность вы-

сказать свои впечатления и задать вопросы российским специалистам. Активно обсуждались вопросы необходимости гибкости регулирования в условиях неопределенности:

- опираться на результаты, а не предписывать;
- «точка поворота», когда площадка начинает удовлетворять требованиям «в рамках стандартной нормативной базы»;
- персонал: ситуация планируемого облучения;
- население: ситуация существующего облучения.

Отмечалась необходимость научной поддержки:

- оценка неопределенностей;
- выявление проблемных вопросов;
- детальное изучение обстановки на объекте;
- рассмотрение приоритетов; разработка новых регулирующих документов;
- если возникает необходимость, то разработка новых нормативов.

Подчеркивалась значимость прикладного научного сопровождения, включая вопросы моделирования доз, оценочные характеристики обстановки, подбора персонала для выполнения конкретной работы.

В заключение как один из важнейших извлеченных уроков была отмечена необходимость мультидисциплинарного регулирования. Необходим полноценный учёт всех параметров регулирования, особенно получение оценок всех угроз: радиологических, химических, ядерных, экологических, физических. При этом рекомендовано проводить одновременное рассмотрение всех таких угроз для определения оптимального решения. Таким образом, необходима структурированная мультидисциплинарная база для обеспечения оценки рисков и выработки подходов к управлению объектом.

По завершению данного мероприятия состоялось заседание членов EGLM, посвященное формированию рекомендаций по регулированию с учетом международного опыта, составлению оглавления отчета, дополненного по результатам посещения технической площадки, и подведены итоги совещания. На этом 7-е заседание EGLM официально было завершено.

Дополнительно, в рамках того же мероприятия во второй половине дня 7 июня было проведено двустороннее совещание по текущим проектам сотрудничества между ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и NRPA.

Обсуждался прогресс в решении выполняемых задач, возникшие трудности, планы на ближайшие месяцы, а также предложения новых проектов сотрудничества на предстоящие 2 года. По результатам двустороннего совещания был подписан протокол, содержащий информацию о ходе выполнения текущих контрактов и намерениях на период 2019–2020 гг.

**Для цитирования:** Шандала Н.К., Семенова М.П., Серегин В.А., Григорьев А.В., Сневе М.К., Лазо Э. Современное состояние проблемы регулирования радиационной безопасности на объекте ядерного наследия на Кольском полуострове Российской Федерации: точка зрения отечественных и зарубежных экспертов // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 73–76.

DOI: 10.12737/article\_5bc897a2103903.64046796

DOI: 10.12737/article\_5bc897fcddd2d8.49109633

**В.В. Уйба<sup>1</sup>, А.В. Аклеев<sup>2,3</sup>, Т.В. Азизова<sup>4</sup>, В.К. Иванов<sup>5</sup>, Д.Ф. Ильясов<sup>6</sup>, Л.А. Карпикова<sup>1</sup>, С.М. Киселев<sup>7</sup>,  
А.И. Крышев<sup>8</sup>, С.Г. Михеенко<sup>9</sup>, С.А. Романов<sup>4</sup>, В.Ю. Усольцев<sup>9</sup>, С.М. Шинкарев<sup>7</sup>**

### **ИТОГИ 65-й СЕССИИ НАУЧНОГО КОМИТЕТА ПО ДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ РАДИАЦИИ (НКДАР) ООН (Вена, 11–14 июня 2018 г.)**

1. Федеральное медико-биологическое агентство, Москва; 2. Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск. E-mail: akleyev@urcrm.ru; 3. Челябинский государственный университет, Челябинск; 4. Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерск, Челябинская область; 5. Медицинский радиологический научный центр (МРНЦ) имени А.Ф. Цыба, Обнинск, Калужская обл.; 6. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва; 7. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва; 8. НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Калужская обл.; 9. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва

В.В. Уйба – руководитель ФМБА России, д.м.н., проф.; А.В. Аклеев – директор УНПЦ РМ ФМБА России, д.м.н., проф.; Т.В. Азизова – зам. директора, к.м.н.; В.К. Иванов – зам. директора, д.т.н., проф., член-корр. РАН; Д.Ф. Ильясов – н.с., к.э.н.; Л.А. Карпикова – нач. международного отдела ФМБА России; С.М. Киселев – зав. лаб., к.б.н.; А.И. Крышев – зав. лаб., д.б.н.; С.Г. Михеенко – начальник отдела; С.А. Романов – директор, к.б.н.; В.Ю. Усольцев – главный специалист; С.М. Шинкарев – зав. отделом, д.т.н.

#### **Реферат**

Настоящее сообщение посвящено основным итогам работы 65-й сессии НКДАР ООН, которая прошла с 10 по 14 июня 2018 г. в Вене (Австрия). В рамках совещаний рабочей группы и подгрупп состоялось обсуждение документов по следующим проектам:

- Биологические механизмы, влияющие на медико-биологические воздействия радиации в малых дозах.
- Исследования после издания отчета НКДАР 2013 г. по уровням и эффектам облучения в результате радиационной аварии после землетрясения и цунами в Восточной Японии. Обзор изданной в 2016 г. литературы, включая оценку данных о раке щитовидной железы в регионах, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС.
- Облучение ионизирующей радиацией пациентов;
- Облучение работников ионизирующей радиацией.
- Выборочные оценки медико-биологических эффектов и рисков от радиационного воздействия.
- Рак легкого при воздействии радона и проникающей радиации.

Обсуждены организационные вопросы деятельности НКДАР, подготовка публикаций НКДАР, стратегия создания постоянно действующих рабочих групп, работа с общественностью, а также будущая программа исследований и отчет Генеральной ассамблеи ООН.

**Ключевые слова:** 65-я сессия НКДАР ООН, малые дозы, биологические эффекты, эпидемиология, медицинское облучение, профессиональное облучение

Поступила: 10.08.2018. Принята к публикации: 05.09.2018

#### **Введение**

С 11 по 14 июня 2018 г. состоялась 65-ая сессия НКДАР ООН (Комитет), в которой приняли участие 115 экспертов из 27 стран-членов НКДАР ООН (Австралия, Аргентина, Белоруссия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Египет, Индия, Индонезия, Испания, Канада, Китай, Мексика, Пакистан, Перу, Польша, Республика Корея, Российская Федерация, Словакия, Судан, США, Украина, Финляндия, Франция, Швеция, Япония), эксперты из стран-наблюдателей в НКДАР ООН (Алжир, Исламская Республика Иран, Норвегия и Объединенные Арабские Эмираты), а также представители 9 международных организаций:

- Программа ООН по окружающей среде – ЮНЕП (UNEP).
- Международное агентство по атомной энергии – МАГАТЭ (IAEA).
- Международная организация труда – МОТ (ILO).
- Международное агентство по изучению рака – МАИР (IARC).
- Всемирная организация здравоохранения – ВОЗ (WHO).
- Европейская Комиссия – ЕК (ЕС).
- Международная комиссия по радиационной защите – МКРЗ (ICRP).

- Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям – МКРЕ (ICRU).
- Агентство по ядерной энергии – АЯЭ (NEA).

Российская делегация включала 12 специалистов (рис. 1): В.В. Уйба – руководитель делегации (руководитель ФМБА России), А.В. Аклеев – официальный представитель РФ в НКДАР ООН (УНПЦ РМ ФМБА России), Т.В. Азизова и С.А. Романов (ЮУрИБФ ФМБА России), В.К. Иванов (МРНЦ Минздрава РФ), Д.Ф. Ильясов (ИБРАЭ РАН), Л.А. Карпикова (ФМБА России), С.М. Киселев и С.М. Шинкарев (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России), А.И. Крышев (НПО «Тайфун» Росгидромета), С.Г. Михеенко и В.Ю. Усольцев (ГК «Росатом»).

Председательствовал на 65-ой сессии НКДАР ООН представитель Бельгии Ханс Ванмарке (Hans Vanmarcke) (рис. 2). Обязанности трех вице-председателей на сессии были делегированы: представителю Германии Питеру Якобу (Peter Jacob), представителю Канады Пэтси Томпсон (Patsy Thompson) и представителю Польши Михаилу Валигорски (Michael Waligorski). По уважительной причине представитель Канады Пэтси Томпсон на сессии отсутствовала. Обязанности репортера на сессии выполняла представитель Австралии Жиллиан Хирч (Gillian Hirth). Организационной работой на сессии руководил исполняющий обязанности ученого секретаря НКДАР ООН Ферид Шаннун (Ferid Shannoun).





Рис. 1. Российская делегации на 65-ой сессии НКДАР ООН

### Результаты обсуждения научных отчетов

В рамках работы 65-ой сессии НКДАР ООН рассмотрены и обсуждены три научных документа, четыре промежуточных отчета и четыре отчета Секретариата. Комитет рассмотрел и подробно обсудил следующие научные документы:

- R.728 «Выборочные оценки медико-биологических эффектов и рисков от радиационного воздействия».
- R.729 «Оценка облучения пациентов от медицинских источников ионизирующего излучения».
- R.730 «Оценка облучения персонала от источников ионизирующего излучения».
- Комитет принял к сведению текущую информацию по работе над следующими промежуточными отчетами:
- R.731 «Рак легкого от облучения радоном и проникающим излучением».
- R.732 «Биологические механизмы, влияющие на медико-биологические эффекты воздействия радиации в малых дозах».
- 65/7 «Сбор, анализ и распространение данных по уровням дозовых нагрузок, в частности населения, обусловленных естественным радиационным фоном и техногенным облучением».
- 65/8 «Реализация планов по информированию населения и стратегии по налаживанию контактов с общественностью».



Рис. 2. Открытие 65-ой сессии НКДАР ООН ее председателем – представителем Бельгии Хансом Ванмарке

Наибольшее количество вопросов, замечаний и дополнений поступило по отчетам R.728 «Выборочные оценки медико-биологических эффектов и рисков от радиационного воздействия» и R.732 «Биологические механизмы, влияющие на медико-биологические эффекты воздействия радиации в малых дозах». В этой связи на текущей сессии основное внимание было уделено вышеуказанным отчетам. После обсуждения было принято решение продолжить работу над всеми отчетами в соответствии с замечаниями экспертов. По результатам обсуждения на 65-й сессии НКДАР ее участники должны направить свои письменные предложения, дополнения или замечания в Секретариат.

Кроме того, состоялось обсуждение новых потенциальных проектов НКДАР ООН, которые могут быть выполнены в ближайшие годы. Эти сообщения были подготовлены как проекты, представляемые Секретариатом НКДАР ООН:

- 65/9/7a «Вторичные раки после радиотерапии».
- 65/9/7b «Эпидемиологические исследования радиации и рака».
- 65/9/7c «Уровни и эффекты радиационного облучения, обусловленного аварией на атомной станции «Фукусима-1»: последствия информации, опубликованной после выхода отчета НКДАР ООН 2013 г.».
- 65/10/7d «Реализация долговременных стратегических директив НКДАР ООН, включая обсуждение концепции деятельности постоянных рабочих групп».

#### **Документ R.728 «Выборочные оценки медико-биологических эффектов и рисков от радиационного воздействия»**

Применение моделей оценки рисков здоровью человека от радиационного облучения является одним из подходов к статистической оценке стохастических эффектов воздействия сверхфоновых доз от различных источников на профессионалов и население. Подход базируется на эпидемиологических исследованиях, в рамках которых изучаются взаимосвязи между заболеваемостью/смертностью облученных групп лиц и поглощенными ими дозами. При этом уровни заболеваемости/смертности сопоставляются с фоновыми показателями для аналогичных групп лиц, не подверженных радиационному воздействию, в результате чего получают оценки абсолютных или относительных избыточных рисков (EAR или ERR), на основании которых строятся модели. Используя подходы к переносу рисков на другие группы лиц (популяции), с помощью этих моделей могут быть спрогнозированы пожизненные радиационные риски для облученных профессионалов и населения. Представление радиационных рисков в виде количественных оценок избыточной заболеваемости/смертности дает возможность применения концепции социально приемлемых рисков при обосновании норм радиационной безопасности, а также раскрывает определённый потенциал при решении других практических задач (подробнее далее).

Представленный документ посвящен решению одной из ключевых проблем современной радиационной эпидемиологии, обусловленной фактором неопределенности основных параметров, используемых для оценки радиационных рисков. Этот вопрос имеет первостепенное значение для адекватной интерпретации уже выполненных радиационно-эпидемиологических работ, а также для планируемых в этом направлении исследований.

Впервые в полном объеме приводится перечень основных факторов неопределенности в эпидемиологических исследованиях. К ним относятся:

- выбор оптимальной модели доза-эффект;
- неопределенность в оценке доз облучения;
- ошибки диагностического характера;
- фоновые показатели заболеваемости и смертности;
- перевод коэффициентов для различных географических популяций;
- необходимость учета трех возрастных показателей: возраст при облучении, достигнутый возраст, время после облучения;
- корректная оценка латентного периода;
- учет эффекта скрининга;
- дополнительные факторы риска, например, курение, алкоголь и др.;
- учет других возможных источников радиации;
- учет влияния относительной биологической эффективности (ОБЭ);
- одновременный учет внешнего и внутреннего облучения.

С позиций оценки неопределенности рассматриваются крупные радиационно-эпидемиологические исследования по следующим направлениям:

- неопределенность в оценке радиационных рисков детских лейкозов;
- неопределенность в оценке радиационных рисков солидных раков при однократном и хроническом облучении;
- неопределенность в оценке радиационных рисков заболеваемости раком щитовидной железы среди детей и подростков;
- неопределенность в оценке радиационных рисков заболеваний системы кровообращения после острого и хронического облучения.

Если результаты анализа эпидемиологических данных по онкологическим заболеваниям неоднократно ранее публиковались НКДАР ООН, то подробное рассмотрение оценки радиационных рисков для заболеваний системы кровообращения приводится впервые. Показаны современные модели доза-эффект для описания дозовой зависимости частоты неонкологических заболеваний, в которых используются фактические данные Хиросимы-Нагасаки, Чернобыля, регистров атомных работников.

Большое внимание уделено анализу статистических данных современных эпидемиологических исследований онкологических и неонкологических заболеваний, включающих детальное рассмотрение основных факторов неопределенности.



Значительное внимание уделено радиационно-эпидемиологическим исследованиям заболеваний системы кровообращения среди ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Отмечается важность установления радиационного риска этой патологии не только от величины накопленной дозы (более 150 мЗв), но и от мощности радиационного воздействия (более 5 мЗв в сутки).

#### **Документ R.729 «Оценка облучения пациентов от медицинских источников ионизирующего излучения»**

Проект документа был подготовлен рабочей группой по медицинскому облучению, организованной в 2013 г. по решению секретариата с целью сбора данных по медицинскому облучению, их анализу и научному обобщению. К текущей сессии НКДАР ООН в рамках разрабатываемого документа подготовлено научное приложение, в котором представлен аналитический обзор литературы за 2005–2018 гг. по следующим направлениям: методология сбора данных по медицинскому облучению, диагностическая рентгенология, интервенционные рентгеновские исследования, ядерная медицина и лучевая терапия. Всего было прорецензировано 505 научных публикаций, из них в обзор включены материалы 296 работ. Впервые в доклад по медицинскому облучению включены пять работ российских авторов, напечатанных в англоязычных научных журналах. Литературный обзор планируется завершить в сентябре 2018 г.

В каждом разделе научного приложения кратко суммируются данные последнего отчета по глобальному медицинскому облучению за 2008 г. и обсуждаются изменения технологий и оборудования, которые произошли за 10 лет, тренды изменений по годовой частоте, дозам на процедуру и коллективным дозам. Особое внимание уделено развитию новых методов: интервенционной диагностике и терапии, росту КТ диагностики, совмещенных ОФЭКТ/КТ-, ПЭТ/КТ-исследований. В ходе обсуждения документа было отмечено, что необходимы сведения о половозрастной структуре, более четкое разделение данных по рентгенодиагностике и интервенционной радиологии; не всегда понятно, включены ли стоматологические рентгеновские исследования в общую рентгенологию, или они рассматриваются отдельно. Рекомендовано в национальные системы сбора данных включать вопрос о вкладе КТ в суммарную дозу от ОФЭКТ/КТ- и ПЭТ/КТ-исследований.

На сессии также была обсуждена проблема возникновения вторичных раковых заболеваний, индуцированных применением радиологических процедур. Ей решено уделить особое внимание в отдельном документе, разработка которого инициирована французской стороной.

На обсуждение был вынесен вопрос о правомочности использования эффективной дозы в качестве критерия оценки облучения пациентов в ходе медицинских радиологических процедур, учитывая не-

равномерность облучения всего тела. Участники дискуссии отметили, что цель документа заключается в представлении оценок медицинского облучения в сравнительном аспекте с другими источниками облучения. В данном случае представление данных в формате эффективной дозы признано оправданным.

Центральный вопрос, который обсуждался на сессии, был связан со сбором национальных данных по медицинскому облучению пациентов. Для сбора данных впервые использовалась компьютерная система сбора данных, которая представляла собой заполнение таблиц данными по трем направлениям: рентгенодиагностика и интервенционные исследования, ядерная медицина, лучевая терапия. Результативность данной деятельности невысока, однако, как было отмечено Ф. Шаннуном, выше, по сравнению со сбором данных по профессиональному облучению. На данном этапе невозможно создать универсальные формы представления данных, которые удовлетворили бы все страны. В этом плане следует отметить невозможность представления Российской Федерацией полной информации по всем запрашиваемым вопросам, особенно в разделе «Лучевая терапия», т.к. они не запрашиваются в используемых в нашей стране формах статистического учета данных. Это обстоятельство ещё раз подтверждает необходимость оптимизации расширенного опросника НКДАР ООН.

#### **Документ R.730 «Оценка облучения персонала от источников ионизирующего излучения»**

Основным содержанием работы за отчетный год был обзор литературных источников. Рассмотрено более 500 статей, осталось рассмотреть еще около 120 статей. Результатом работы стала подготовка упрощенного опросника. Обсуждалось определение понятия профессионального облучения. Принято определение, предложенное МАГАТЭ (BSS), как согласованное большинством стран и совпадающее с определением МОТ. По предложению представителя Аргентины отмечено, что оно отличается от определения МКРЗ. По предложению секретариата срок подачи замечаний и информации по упрощенному опроснику – 30 июня 2018 г. включительно, по детализированному опроснику – 30 сентября 2018 г. Представитель Российской Федерации предложил расширить раздел, касающийся доз в атомной энергетике, как наиболее востребованной обществом информации. Однако решение по этому вопросу было отложено до получения большего количества данных от стран. Принято предложение США – использовать данные, содержащиеся в национальных докладах.

По информации секретариата, МАГАТЭ подразделяет страны-участницы на семь категорий по уровню радиационной защиты. Предполагается, что данные о дозах должны находиться в согласии с информационной системой МАГАТЭ и анализироваться совместно. Среди проблем, требующих пристального внимания, были отмечены следующие: необходимость



анализа точности дозиметров и распределения по диапазонам доз, а также недооценка доз облучения медицинского персонала, занимающегося диагностикой. Представитель Украины отметил, что дозы строителей укрытия ЧАЭС оказались неучтенными. Для работы с неполными данными было предложено использовать доклад НКДАР 1997 г., который позволяет осуществлять экстраполяцию данных, учитывая их логнормальное распределение.

Важно отметить, что формат отчета в Российской Федерации не совпадает в полной мере с системой сбора данных НКДАР. Необходимо сделать анализ возможности изменения разбиения по диапазонам доз, внести изменения в системы статистической и отраслевой отчетности. Кроме того, важно проанализировать неопределенности данных по облучению персонала. Проблемы могут возникнуть по дозам на хрусталик глаза и на кожу.

### **Документ R.731 «Рак легкого от облучения радоном и проникающим излучением»**

МКРЗ в Публикации 103 рекомендовала существенно расширить область применения системы радиационной защиты. В дополнение к контролю техногенного радиационного воздействия было предложено учитывать природное и медицинское облучение. Такой подход МКРЗ был реализован в обновленных основных стандартах радиационной безопасности МАГАТЭ. В последнее десятилетие появился целый ряд методических документов, направленных на практическую реализацию радиационной защиты от природного и медицинского облучения.

С 2016 г. НКДАР ООН проводит работу, целью которой является научное обоснование и количественная оценка риска рака легкого вследствие облучения радоном. Поступление радона и продуктов его распада через дыхательные пути является основным природным дозообразующим фактором для населения. В 2006 г. Комитет оценил, что вклад радионуклида в суммарную дозу облучения человека составляет в среднем 1,25 мЗв в год. Все большую актуальность приобретает проблема роста концентрации радона в зданиях и помещениях.

Важной проблемой является научное обоснование пределов поступления радона для шахтеров угольных шахт. Исторически сложилось, что уровни облучения работников урановых шахт, подвергающихся облучению радоном, обычно выражаются в «рабочих уровнях в месяц» (РУМ). Это так называемый «эпидемиологический» подход. МКРЗ рекомендует «дозиметрический» подход, основанный на модели респираторного тракта человека из Публикации 66. Детальное описание дозиметрии радона при его ингаляции представлено в Публикациях МКРЗ 115, 126 и 137. Так, в Публикации 137 МКРЗ отмечено, что для целей радиационной защиты оценки, полученные с помощью обоих подходов, практически идентичны. Несмотря на полученные оптимистические результаты, научное обоснование «дозиметрического» подхода вызывает

многочисленные вопросы, которые и нашли свое отражение при обсуждении документа на 65-й сессии Комитета:

- при оценке эквивалентной дозы облучения легких используется предположение об одинаковых взвешивающих факторах для различных анатомических отделов органа. Вместе с тем, известно, что рак легкого при ингаляции радона в основном возникает в трахеобронхиальном отделе;
- потенциальным фактором, влияющим на кинетику радона в респираторном тракте человека, является курение, что, в свою очередь, может привести к различиям в дозиметрических оценках между мужчинами и женщинами;
- в обоих подходах не учитывается облучение от радона-220 (торона);
- неопределенности оценок доз облучения составляют несколько порядков величины.

По итогам обсуждения Комитет не пришел к окончательному выводу о преимуществах и недостатках различных подходов для оценки доз. Принято промежуточное решение использовать рекомендованную ранее в отчете НКДАР ООН 2006 г. величину взвешивающего коэффициента для радона.

При оценке риска легочной онкопатологии основной проблемой является выбор оптимальной математической модели. Такие нерадиационные факторы риска как пол, возраст, курение могут оказывать влияние не только на спонтанную (фоновую) составляющую, но и изменять величину избыточного радиационного риска.

Для сопоставления и переноса оценок риска с одной популяции на другую крайне важным является проблема учета фоновой составляющей. Кроме того, совместное влияние курения и радиации является одним из факторов неопределенности. Различия в оценках риска в зависимости от возрастных характеристик вносят свои особенности в оценку риска у детей, профессиональных работников, а также у лиц, проживающих в условиях повышенного радиационного фона.

При обсуждении документа были отмечены следующие ключевые проблемы:

- выбор адекватной математической модели оценки риска рака легкого; известно, что основные модели получены для когорт шахтеров урановых рудников; вопрос о распространении таких моделей на все население является дискуссионным;
- учет комбинированного воздействия радона и курения;
- различия в оценках фонового риска в зависимости от возрастных характеристик и пола;
- неопределенности оценок радиационного риска при ингаляции радона составляют несколько порядков величины.

Российская делегация отметила, что решение выше обозначенных проблем требует «дозиметрического» подхода.

Комитет планировал провести сравнение оценок доз облучения и величины риска возникновения рака

легкого вследствие облучения радоном, внешним гамма-излучением, а также альфа-излучателями, в частности, плутонием. Важно отметить, что при сравнении оценок, полученных для различных типов излучения, необходимо учитывать распределение дозы в тканях и органах человека. В частности, проникающая радиация воздействует равномерно на все части тела, в то время как при ингаляции радона воздействию подвергаются только легкие, а плутоний неравномерно распределяется по нескольким органам. По итогам обсуждения Комитет пришел к выводу об исключении из текста документа вопросов сравнения оценок риска при ингаляции радона с другими сценариями облучения.

Очевидно, что документ будет иметь серьезные практические последствия для нормирования пределов доз при проживании населения на территориях с повышенным радиационным фоном.

#### **Документ R.732 «Биологические механизмы, влияющие на медико-биологические эффекты воздействия радиации в малых дозах»**

Проект отчета был детально обсужден на сессии. Были обсуждены общие вопросы и внесены коррективы по конкретным разделам отчета. Среди общих вопросов одним из главных было название документа. В процессе обсуждения мнения экспертов разделились. Согласно одному предложению, надо сконцентрировать внимание на канцерогенных последствиях малых доз. Согласно второму мнению, целью исследования является изучение механизмов радиационного канцерогенеза вне зависимости от дозы и характера облучения. Вопрос не был решен на сессии.

Документ вызывает большой интерес, что нашло отражение в общей дискуссии. Основные замечания касались следующих основных проблем документа: недоучета роли стволовых клеток и микроокружения в реализации канцерогенных эффектов малых доз, немишенного эффекта и эффектов, связанных с изменением радиочувствительности клеток (индуцированная радиорезистентность и повышенная радиочувствительность). По инициативе представителя Российской Федерации было принято решение включить в отчет новые разделы по анализу клеточных эффектов при действии малых доз радиации и сигнальных путей, а также немишенного эффекта (эффекты свидетеля, нестабильность генома), гиперрадиочувствительности. Важно оценить роль немишенного эффекта, а также эффекта гиперрадиочувствительности и адаптивного ответа в модификации канцерогенного риска малых доз радиации. Было отмечено, что в настоящее время имеется информация о радиационно-индуцированной активации сигнальных путей, регулирующих процессы воспаления и воспалительные цитокины, которые повышают восприимчивость к радиационно-индуцированному лейкозу.

Структура отчета и особенно главы 3, посвященной биологическим механизмам, также должна быть пересмотрена авторами. Логично после раздела А

«Прямое и не прямое повреждение ДНК», увидеть раздел D «Экспрессия генов и белков, эпигенетика», затем разделы В «Эффекты неядерных клеточных структур» и F, посвященный взаимодействию клеток на тканевом уровне. Закончить основную главу логичнее разделом С «Радиационный канцерогенез в организме». При этом, поскольку иммунная система является одним из основных гомеостатических механизмов организма в целом, проблему, посвященную радиационным эффектам иммунной системы, можно рассмотреть в разделе С.

Замечания по отдельным разделам также имели принципиальное значение для будущей работы над отчетом. В текущей редакции раздела А, посвященного прямым и непрямым повреждениям ДНК, акцент сделан преимущественно на хромотрипсисе и адаптивном ответе *in vivo*. Указано, что адаптивный ответ является следствием радиационного повреждения ядерной ДНК в малых дозах и должен найти отражение в новом разделе, который пока отсутствует в отчете. Включение в отчет самостоятельного раздела по клеточным ответам на малые дозы было принято авторами. Что касается хромотрипсиса, то было высказано сомнение в универсальности этого механизма в индукции рака после облучения. Имеющиеся данные показывают, что наиболее часто хромотрипсис регистрируется в остеосаркомах и при миелодиспластическом синдроме (25 %) и достаточно редко в других опухолях (в среднем в 2–3 % образцах разных опухолей).

Секцию В «Эффекты неядерных компонентов клетки» следует дополнить информацией о влиянии малых доз радиации на цитоскелет, который является важным компартментом, участвующим в клеточном делении, а также на биологические мембраны и митохондрии.

В секции D уместно представить анализ внутриклеточных сигнальных путей, которые задействованы в экспрессии генов и белков после облучения в малых дозах. Например, имеется информация об участии генов (TGF $\beta$  – transforming growth factor beta и Trp53) в индуцировании рака молочной железы. Они принимают участие в сигнальных путях, регулирующих пролиферацию стволовых клеток. В этот же раздел целесообразно включить информацию о роли микроРНК в эпигенетических эффектах малых доз, а также о модификации гистонов и влиянии ионизирующего излучения на конденсацию хроматина.

В разделе E, посвященном иммунным ответам, важно представить данные по реакциям иммунной системы на медицинское облучение и информацию о влиянии ионизирующего излучения на секрецию цитокинов иммунокомпетентными клетками. Включение в раздел материала, посвященного угнетению малыми дозами аллергических реакций, не совсем понятно.

В разделе, посвященном стволовым клеткам, рекомендовано рассмотреть проблему радиорезистентности стволовых клеток и роль микроокружения. Для этой цели можно привлечь Публикацию 131 МКРЗ. Кроме того, имеются данные о вовлеченности неста-

бильности генома микроокружения стволовых клеток в канцерогенез.

Работу по отчету рекомендовано продолжить. Отчет будет обновлен и представлен для обсуждения в 2019 г. Определены отдельные задачи на будущий год.

**Отчет 65/7 «Сбор, анализ и распространение данных по уровням дозовых нагрузок, в частности на население, обусловленных естественным радиационным фоном и техногенным облучением»**

В 2010 г. на 57-й сессии НКДАР ООН была согласована долгосрочная стратегия по улучшению сбора, анализа и распространения данных об облучении населения Земного шара от источников ионизирующего излучения с целью оценки современных тенденций в изменении структуры облучения населения. В 2012 г. на 59-й сессии секретариат НКДАР ООН представил план реализации данной стратегии, в рамках которого предполагалось усовершенствовать вопросники по сбору данных, организовать сотрудничество с международными и межправительственными организациями, использовать электронные методы сбора данных, установить на национальном уровне контактные группы НКДАР ООН по сбору данных, создать экспертную группу по медицинскому облучению.

В развитие принятой стратегии секретариат НКДАР ООН в 2015–2016 гг. приступил к реализации он-лайн программы сбора данных НКДАР ООН в рамках международного проекта, посвященного оценке уровней медицинского и профессионального облучения населения Земного шара. Учитывая значимость проекта в плане обеспечения радиационной безопасности населения планеты, Генеральная Ассамблея ООН (ГА ООН) в своей резолюции 69/84 призвала все государства-члены ООН способствовать его выполнению. В этих целях было предложено официально через министерства иностранных дел назначить национальных контактных лиц, возложив на них обязанность координации сбора данных о медицинском и профессиональном облучении и представления их в НКДАР ООН. Кроме того, для обеспечения этой деятельности рекомендовано назначить технических экспертов для сбора информации в конкретных тематических областях. В этом плане целесообразно отметить, что в Российской Федерации в 2017 г. было назначено национальное контактное лицо (НКЛ), и в настоящее время осуществляется согласование вопроса о назначении технических экспертов от Роспотребнадзора, ФМБА России и Госкорпорации «Росатом», в подведомственных организациях которых аккумулируется запрашиваемая НКДАР ООН информация.

Прогресс в реализации данного проекта был обсужден на 65-й сессии НКДАР ООН. Было отмечено, что в настоящее время секретариатом налажено взаимодействие с международными организациями (МАГАТЭ, ВОЗ, МОТ и др.), в которых аккумулируются значительные объемы информации, а также с НКЛ государств, входящих в ООН, которое осуществляется

в различных форматах, включая участие в международных конференциях и симпозиумах. Вместе с тем, как было отмечено на предыдущей и нынешней сессиях, темпы сбора информации остаются слишком низкими. Во многом это обусловлено тем, что формат запрашиваемых НКДАР ООН данных не соответствует национальным форматам данных об облучении населения. В связи с этим секретариатом НКДАР ООН был разработан упрощенный опросник, заполнение которого позволит собрать информацию, позволяющую провести предварительную оценку медицинского и профессионального облучения населения всех стран. Принятое решение, как было отмечено в обсуждаемом на данной сессии отчете, позволило достичь определенного прогресса в получении информации, запрашиваемой в формате сокращенного опросника. В 2018 г. расширился перечень государств (в который вошла и Российская Федерация), предоставивших указанную информацию. Необходимость обработки указанной информации, а также возможность ее получения от государств, пока ее не представивших, обусловили решение Комитета сдвинуть сроки представления запрашиваемых данных на 30 сентября 2018 г. для публикации отчета НКДАР ООН в 2019 г.

Учитывая, что на основе информации, представленной в рамках сокращенного опросника, будет дана предварительная оценка медицинского и профессионального облучения населения Земли, на сессии обсуждался вопрос о возможности получения сведений в рамках расширенного вопросника. В ходе его обсуждения НКЛ Российской Федерации было внесено предложение об оптимизации расширенного опросника, поскольку, как уже было отмечено, форматы запрашиваемых Комитетом данных не совпадают с национальными форматами сбора данных.

Кроме того, в ходе заседания и.о. секретаря НКДАР ООН Ф. Шаннун отметил, что вопрос о сборе информации по природному облучению планируется к рассмотрению Комитетом не ранее 2019 г. и будет реализовываться по аналогичной схеме, как и в случае сбора данных об облучении техногенными источниками ионизирующего излучения.

**Отчет 65/8 «Реализация планов по информированию населения и стратегии по налаживанию контактов с общественностью»**

На 65-й сессии было подчеркнuto, что научные оценки Комитета представляют собой надежный источник информации по уровням радиационного воздействия и эффектам облучения. Отчеты НКДАР ООН используются правительствами и международными организациями для совершенствования радиационной защиты, нормирования облучения и других решений применительно к радиации. Тремя основными стратегическими направлениями Комитета для реализации планов по информированию населения и стратегии по налаживанию контактов с общественностью являются:

- развитие общедоступного веб-сайта Комитета;



- разработка информационных печатных материалов;
- усиление взаимодействия с новостными СМИ и другими заинтересованными сторонами для популяризации деятельности Комитета.

В процессе обсуждения достигнутых результатов в этой области особое внимание было уделено востребованности веб-сайта НКДАР ООН. Было отмечено увеличение числа посетителей с мая 2017 г. до конца апреля 2018 г. (около 297 тыс. посещений) по сравнению с данными предыдущего отчетного периода (май 2016 – апрель 2017 гг.) (около 196 тыс. посещений). Наибольшей популярностью пользовались отчеты НКДАР ООН, касающиеся последствий аварий на атомных станциях в Чернобыле и Фукусиме. Следует добавить, что большой популярностью также пользуется приложение «В» отчета НКДАР ООН 2008 г., касающееся вопросов облучения персонала и населения от различных источников ионизирующего излучения. В прошлом году был отмечен большой всплеск посещаемости сайта Комитета, обусловленный презентацией электронной версии брошюры по эффектам и источникам ионизирующих излучений, разработанной в рамках программы ООН по окружающей среде (UNEP) в конце 2017 г. На 65-й сессии были рассмотрены предложения по модернизации веб-сайта Комитета и разработке мобильного приложения.

Другим важным элементом стратегии информационно-пропагандистской деятельности НКДАР ООН является разработка пропагандистских печатных продуктов: листовок и плакатов, информационных бюллетеней, вспомогательных печатных изданий и соответствующих собственных публикаций.

В отчете о пропагандистской и информационной стратегии представлены также планы на будущее. Указано, что после публикации в 2014 г. доклада НКДАР ООН «Уровни и эффекты радиационного облучения, обусловленного ядерной аварией после великого восточно-японского 2011 г. землетрясения и цунами» и последующей публикации «Белой книги» в 2015 и 2016 гг., интерес к работе Комитета и осведомленность о ней в СМИ значительно возросли, особенно в Японии. В связи с этим, важным направлением расширения пропагандистской деятельности Комитета названо рассмотрение вопроса о расширении стратегии в контексте доклада НКДАР ООН от 2013 г. по аварии на АЭС «Фукусима-1» до 2020 г.

Учитывая необходимость популяризации деятельности НКДАР ООН, возникает потребность организации в обучающих тренингах для персонала, определенного секретариатом для выступлений на научных и общественных форумах, интервьюирования и т.д. Организация этой деятельности рассматривалась на настоящей сессии с учетом финансовых возможностей Комитета.

В заключение 65-й сессии было отмечено, что для разработки и осуществления будущей стратегии информационно-пропагандистской деятельности Комитета на период 2020–2024 гг. потребуются регулярные и постоянные взносы в общий целевой фонд

НКДАР ООН для покрытия расходов, связанных со следующими позициями:

- работа сотрудника по связям с неполной занятостью для дальнейшей разработки и реализации стратегии;
- наем на кратковременную работу разработчика веб-сайта для обновления общедоступного веб-сайта НКДАР ООН;
- предоставление консультаций по разработке и переводу информационно-пропагандистских материалов.

### Новые проекты НКДАР ООН

На 65-й сессии НКДАР ООН состоялось краткое обсуждение будущей программы работ. Представители многих стран остро ставили вопрос о необходимости скорейшего назначения нового секретаря НКДАР ООН взамен М. Крика, покинувшего этот пост 28 февраля 2018 г. Отсутствие секретаря НКДАР ООН уже привело к переносу 65-й сессии с апреля на июнь 2018 г., замедлению выполнения ряда текущих проектов, откладыванию начала выполнения новых проектов. При этом дополнительным отягчающим фактором является недостаточное финансирование работы НКДАР ООН из общего целевого фонда НКДАР ООН, куда поступают добровольные пожертвования от стран-участниц НКДАР ООН. Тем не менее, и.о. секретаря НКДАР ООН Ф. Шаннун констатировал, что на прошлой 64-ой сессии Комитет одобрил инициирование двух новых проектов: (1) по вторичным ракам после лучевой терапии (предложено делегацией Франции) и (2) по эпидемиологическим исследованиям радиации и рака (предложено делегацией США). Однако отсутствие финансирования не позволило начать полноценную работу по выполнению этих проектов. Эксперты Франции и США по запросу секретариата НКДАР ООН к началу текущей сессии только обновили свои предложения по выполнению предложенных ими проектов.

На 65-ой сессии также отмечалось, что проект по оценке доз облучения населения от природных источников, который ранее предложила делегация Китая, остается среди проектов, одобренных Комитетом, которые планируется выполнять в 2020–2024 гг. Условием начала выполнения этого проекта секретариат назвал завершение подготовки документа «Сбор, анализ и распространение данных по уровням дозовых нагрузок, в частности на население, обусловленных естественным радиационным фоном и техногенным облучением».

Наибольшее время на сессии по сравнению с другими проектами заняло обсуждение предложенного секретариатом проекта «Уровни и эффекты радиационного облучения, обусловленного аварией на атомной станции «Фукусима-1»: последствия информации, опубликованной после выхода отчета НКДАР ООН 2013 г.». Этот проект обсуждался на предыдущей 64-ой сессии. Секретариат проинформировал Комитет, что к настоящему времени удалось достичь договорен-

ности с правительством Японии о финансировании данного проекта. Однако ряд делегатов высказал опасения, что целевое финансирование отдельных проектов может поставить под сомнение объективность и независимость оценок Комитета при выполнении таких проектов. Прозвучало предложение по ограничению реализации такого рода проектов. Тем не менее, согласно общему мнению участников сессии, данный проект следует выполнить, при этом необходимо ревизовать цели этого проекта, тематические разделы и степень детализации такой ревизии. Также подчеркивалось, что подготовка нового научного отчета по анализу последствий Фукусимской аварии по сравнению с подготовкой отчета НКДАР ООН 2013 г. должна быть существенно короче по времени и меньше по объему выполняемой работы.

### **Проект 65/7/7а «Вторичные раки после радиотерапии»**

Цель проекта, внесенного французской делегацией и ревизованного к текущей сессии, заключается в следующем: обобщить накопленные к настоящему времени знания о частоте появления вторичных раков после лучевой терапии и риске их появления на основе анализа доз, получаемых органами и тканями, не являющимися целями такого облучения. При этом будет дан соответствующий анализ геномных и молекулярных исследований для лучшего понимания механизмов восприимчивости к множественному раку.

Планируется, что ориентировочный объем разрабатываемого документа составит около 70 страниц, включая введение (3 стр.), дозиметрическую главу (20 стр.), главу по клинической радиобиологии (20 стр.), эпидемиологическую главу (20 стр.), главу с описанием направлений будущих исследований, выводами и рекомендациями (5 стр.). Французские эксперты будут возглавлять работу по этому проекту. Уже выразили желание участвовать в этой работе эксперты из Аргентины, Швеции, Японии и Перу. Если удастся начать проект в январе 2019 г., то его окончание планируется на конец 2021 г. (продолжительность – 3 года).

### **Проект 65/9/7б «Эпидемиологические исследования радиации и рака»**

В проекте плана отмечается, что НКДАР ООН с 1955 г. готовит систематический обзор научных публикаций по радиационному канцерогенезу у человека. Последний обстоятельный обзор датирован 2006 г. Данные, представленные в этом отчете, устарели, и имеется насущная необходимость в обзоре и анализе новых современных эпидемиологических данных, касающихся состоятельных оценок радиационного риска при малых дозах и низких мощностях доз, которые ныне характерны для облучения персонала и населения. В новом обзоре будут учтены достоинства и недостатки проведенных эпидемиологических исследований. В проекте плана подчеркивается, что недостаток существующего подхода к оценке радиационного ри-

ска состоит в том, что он опирается на линейную беспороговую модель и при этом используется эффективный фактор доза – мощность дозы, значение которого очень неопределенное.

Американская делегация, предложившая этот проект, формулирует его цель следующим образом: подготовить научный документ, который представит современный обзор по той же теме, что и документ НКДАР ООН 2006 г. «Эпидемиологические исследования радиации и рака». Подобно предыдущим семи обзорам Комитета по радиационному канцерогенезу у человека (опубликованным в период с 1955 г. по настоящее время), будущий обзор даст более глубокое научное представление лицам, принимающим решение, научному сообществу, международным организациям и специалистам в области радиационной защиты в отношении оценок риска рака после воздействия ионизирующего излучения и предоставит надежный базис для принятия взвешенных решений по вопросам, связанным с радиационным воздействием.

Среди планируемых к обстоятельному рассмотрению вопросов следует выделить такие, как: (а) оценка радиационного риска при малых дозах и низких мощностях дозы; (б) оценка риска для отдельных видов рака в терминах относительного и абсолютного риска в зависимости от возраста, дозы и времени, прошедшего с момента облучения; (в) применение различных форм аппроксимации зависимости доза–эффект в области малых доз для отдельных видов рака (линейная, криволинейная, сплайн, пороговая непараметрическая зависимости); (г) оценка различий в радиочувствительности между мужчинами и женщинами для суммы раков и отдельных видов рака в зависимости от возраста во время облучения и от дозы.

Планируется, что структура отчета будет включать следующие разделы: введение (2 стр.), расширенное резюме (10 стр.), обзор предыдущих отчетов НКДАР ООН (15 стр.), новые или уточненные эпидемиологические исследования (15 стр.), обзор отдельных видов рака (примерно 25 видов рака по 3 стр. на рассмотрение каждого вида рака), пожизненный риск для всех видов рака (15 стр.), заключение (2 стр.). Планируемая общая продолжительность работы над документом составляет не менее 5 лет.

### **Проект 65/9/7с «Уровни и эффекты радиационного облучения, обусловленного аварией на атомной станции «Фукусима-1»: последствия информации, опубликованной после выхода отчета НКДАР ООН 2013 г.»**

В проекте констатируется, что 2 апреля 2014 г. был опубликован научный отчет НКДАР ООН с всесторонним и детальным анализом причин и оценкой последствий аварии на АЭС «Фукусима-1». Этот отчет был очень благожелательно воспринят правительствами стран, научным сообществом и общественностью в самой Японии и явился новым подтверждением высокой научной компетентности и независимости оценок, публикуемых Комитетом. В то же время, необходимо

отметить, что основные оценки радиологических последствий, представленные в этом отчете, базировались на данных, которые были собраны только до октября 2012 г. С тех пор специалистам стало доступно значительно больше радиологической информации. Правительственные органы, научное сообщество, общественность, средства массовой информации высказывают непосредственную заинтересованность в сопоставлении прогнозных оценок последствий, содержащихся в упомянутом отчете НКДАР ООН, с реальной ситуацией в Японии почти 10 лет спустя.

В проекте плана цель обозначена как подготовка комплексной оценки радиологических последствий Фукусимской аварии в свете новой информации, ставшей известной после выхода отчета 2013 НКДАР ООН, и позволившей Комитету представить достоверную и обновленную оценку уровней облучения и медицинских последствий радиационного воздействия к 10-летию с момента аварии на АЭС «Фукусима-1». Предполагается, что эксперты, которые будут работать в проекте, сосредоточат свое внимание на следующих вопросах: (а) обоснование и дальнейшая верификация оценок доз, которые представлены в отчете 2013 НКДАР ООН, (б) уточнение и детализация любых существенных коррекций в те предположения и оценки, которые могут быть верифицированы на основании новой информации, ставшей известной после выхода предыдущего отчета, (в) уточнение неопределенностей в оценках доз, (г) там, где возможно, более обоснованное представление тех тематических разделов, которые не были в необходимой степени раскрыты в прежнем отчете, (д) подготовка комментариев по ряду тематических разделов, которые находятся в фокусе внимания и беспокойства средств массовой информации и общественности.

В новом отчете будут содержаться следующие тематические разделы:

- распространение радионуклидов в атмосфере и источник выброса;
- распространение в морской среде и источник выброса;
- распределение на суше и распространение в речной среде;
- облучение населения, восстановление и контрмеры;
- облучение персонала;
- оценка медицинских последствий;
- оценка воздействия на биоту.

Согласно предложенному плану в новом отчете будут отражены материалы, помещенные в статьях, которые уже опубликованы или будут опубликованы в рецензируемых научных журналах не позднее конца 2019 г. В целом, новый отчет должен выйти либо в конце 2020 г., либо в начале 2021 г. до 10-ой годовщины Фукусимской аварии.

### **Организационные вопросы**

В 2017 г. была закончена работа над документами НКДАР ООН «Критерии качества эпидемиологических исследований» и «Эпидемиология рака, вызван-

ная облучением населения с низкой мощностью дозы от естественных источников излучения, включая научный анализ Комитетом фактора эффективности дозы и мощности дозы», которые были опубликованы вместе с отчетом по Фукусиме и Белой книгой по ракам щитовидной железы после Чернобыльской аварии. Были обсуждены резолюция Генеральной Ассамблеи, которая включает информацию о публикационной активности Комитета и состоянии дел по научным отчетам, а также деятельность НКДАР по распространению информации среди населения.

На сессии был заслушан текущий отчет о проведенных мероприятиях в рамках направления «Реализация информации для общества и информационно-пропагандистской стратегии». Важными мероприятиями в этом направлении были: совершенствование сайта НКДАР ООН, публикация брошюры UNEP «Радиация: воздействие и источники» на официальные языки Организации Объединенных Наций (английский, арабский, китайский, французский, русский и испанский), а также на чешский, нидерландский, немецкий, японский и португальский языки, чтобы сделать публикацию доступной для более широкой аудитории.

Научные оценки НКДАР представляют собой надежный источник информации по уровням и эффектам облучения. Целями базовой стратегии информирования общественности и информационно-пропагандистской деятельности (2014–2019 гг.) являются оперативное предоставление актуальных, точных и необходимых материалов тем, кто в них нуждается, в форматах, соответствующих их потребностям, а также повышение осведомленности и углубление понимания новых результатов и их последствий, особенно через СМИ.

Обсуждалась критическая ситуация, связанная с отсутствием действующего секретаря НКДАР ООН. К сожалению, с осени 2017 г. и до настоящего времени UNEP не смог подобрать кандидатуру секретаря НКДАР ООН, что не позволяет Комитету выполнять свою работу в полном объеме.

Значительное внимание уделялось стратегии повышения научной эффективности Комитета. Обращено внимание, что значительное место в последние годы занимают технические проекты, связанные с оценкой уровней облучения населения и персонала. Предлагается повысить эффективность Комитета за счет интенсификации межсессионной работы. Для этого планируется создать две постоянно действующие рабочие группы (ПРГ). Первая группа будет заниматься дозиметрическими аспектами облучения человека, а вторая медико-биологическими эффектами и механизмами радиационных эффектов. ПРГ будут решать вопросы научной экспертизы проектов и обоснования исследовательских программ Комитета.

ПРГ будет состоять из ученых, назначенных государствами-членами Комитета из состава своих делегаций, а также из приглашенных ученых тех государств, которые не являются членами Комитета. Комитет возложит на ПРГ ответственность за предоставле-





Рис. 3. Руководитель российской делегации, руководитель ФМБА России В.В. Уйба и члены российской делегации на заседании 65-ой сессии НКДАР ООН

ние рекомендаций Комитету относительно изменений в радиационных областях науки, определенных в Стратегических направлениях на несколько лет, путем ведения систематического сбора информации о научных публикациях, и предоставление экспертного обзора и отзывов по проектам научных приложений и текущих отчетов, подготовленных секретариатом. Цель ПРГ и порядок его деятельности отличается от деятельности специальных групп, созданных секретариатом для проведения систематических обзоров литературы и подготовки черновиков этих документов. Для перехода на новую систему деятельности НКДАР ООН было принято решение создать специальную рабочую группу для разработки программы работы НКДАР ООН на 2020–2024 гг., включающую ведущих специалистов.

Российская делегация принимала активное участие в подготовке к обсуждению научных документов, промежуточных отчетов и будущей программы работ, направив замечания и предложения по обсуждаемым темам до начала 65-ой сессии. Члены российской делегации принимали заинтересованное участие в обсуждении сессионных материалов во время проведения заседаний 65-ой сессии НКДАР ООН (рис. 3).

### Заключение

С 11 по 14 июня 2018 г. в Вене прошла 65-я сессия НКДАР ООН, на которой были обсуждены 7 научных отчетов, программа будущих исследований и организационные вопросы деятельности Комитета. По результатам обсуждения принято решение продолжить работу над всеми отчетами.

На сессии была подчеркнута необходимость интенсификации деятельности по сбору национальных

данных по профессиональному и медицинскому облучению в рамках расширенного опросника. С учетом важности этой задачи, оперативности ее реализации, а также долговременного характера работы по сбору данных, руководителем ФМБА России В.В. Уйба принято решение о необходимости создания межведомственной рабочей группы, состоящей из представителей (технических экспертов) Роспотребнадзора, ФМБА России и Госкорпорации «Росатом» под председательством национального контактного лица. В основу российских данных, которые следует представлять в НКДАР ООН по указанному проекту, должна быть положена официальная информация, собираемая в Российской Федерации в рамках государственной статистической отчетности.

После 65-й сессии НКДАР ООН продолжится проект по Фукусиме. Заявки Франции по вторичным ракам после радиотерапии и США по эпидемиологии рака отложены и будут инициированы в 2019 и 2020 гг. соответственно. Проект Китая по природному облучению населения, хотя и не был принят для работы, но рассматривается как перспективный. В качестве пилотного проекта предлагается создать специальную группу, которая в период до 66-й сессии Комитета подготовит программу развития НКДАР ООН на период 2020–2024 гг.

Принято решение, что следующая сессия состоится 10–14 июня 2019 г. в Вене.

**Для цитирования:** Уйба В.В., Аклев А.В., Азизова Т.В., Иванов В.К., Ильясов Д.Ф., Л.А. Карпикова, Киселев С.М., Крышев А.И., Михеенко С.Г., Романов С.А., Усольцев В.Ю., Шинкарев С.М. Итоги 65-й сессии Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН (Вена, 11–14 июня 2018 г.) // Мед. радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 5. С. 77–88.

DOI: 10.12737/article\_5bc897fcddd2d8.49109633

DOI: 10.12737/article\_5bc897fcddd2d8.49109633

**Results of the 65<sup>th</sup> Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 11–14 June, 2018)****V.V. Uyba<sup>1</sup>, A.V. Akleyev<sup>2,3</sup>, T.V. Azizova<sup>4</sup>, V.K. Ivanov<sup>5</sup>, D.F. Ilyasov<sup>6</sup>, L.A. Karpikova<sup>1</sup>, S.M. Kiselev<sup>7</sup>, A.I. Kryshev<sup>8</sup>, S.G. Mikheyenko<sup>9</sup>, S.A. Romanov<sup>4</sup>, V.Yu. Usoltsev<sup>9</sup>, S.M. Shinkarev<sup>7</sup>**

1. Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia; 2. Urals Research Center for Radiation Medicine, Chelyabinsk, Russia; 3. Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia; 4. Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Chelyabinsk reg., Russia; 5. A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center, Obninsk, Russia; 6. Nuclear Safety Institute, Moscow, Russia; 7. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia; 8. Research and Production Association "Typhoon", Obninsk, Russia; 9. State Atomic Energy Corporation "ROSATOM", Moscow, Russia

V.V. Uyba – Head of the Medical and Biological Agency, Dr. Sc. Med., Prof.; A.V. Akleyev – Director, Dr. Sc. Med., Prof.; T.V. Azizova – Deputy Director, PhD Med.; V.K. Ivanov – Deputy Director, Dr. Sc. Tech., Prof., Corr. Member of RAS; D.F. Ilyasov – Research Worker, PhD Econ.; L.A. Karpikova – Head of Dep.; S.M. Kiselev – Head of Lab., PhD Biol.; A.I. Kryshev – Head of Lab., Dr. Sc. Biol.; S.G. Mikheyenko – Section Head of State Atomic Energy Corporation "ROSATOM"; S.A. Romanov – Director, PhD Biol.; V.Yu. Usoltsev – Chief Specialist; S.M. Shinkarev – Head of Dep., Dr. Sc. Tech.

**Abstract**

Current paper is devoted to the main outcomes of the 64<sup>th</sup> UNSCEAR Session which took place in Vienna during 10–14 June 2018. Within the framework of the meetings of the working group and subgroups the documents on the following projects were discussed:

- Biological mechanisms influencing health effects from low-dose radiation exposure.
- Developments since the 2013 UNSCEAR report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great East-Japan earthquake and tsunami: review of 2016 scientific literature including an evaluation of thyroid cancer data in regions affected by the Chernobyl accident.
- Exposure of patients to ionizing radiation.
- Exposure of workers to ionizing radiation.
- Selected evaluations of health effects and of risk inference due to radiation exposure.
- Lung cancer from exposure to radon and to penetrating radiation.

In the course of the discussion, some organizational issues such as preparation of UNSCEAR publications, feasibility of establishing standing working groups, public outreach activities, future research program, report to the General Assembly etc., were considered.

**Key words:** 65<sup>th</sup> UNSCEAR Session, low doses, biological effects, epidemiology, medical exposure, occupational exposure

**For citation:** Uyba VV, Akleyev AV, Azizova TV, Ivanov VK, Ilyasov DF, Karpikova LA, Kiselev SM, Kryshev AI, Mikheyenko SG, Romanov SA, Usoltsev VYu, Shinkarev SM. Results of the 65<sup>th</sup> Session of the United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation (UNSCEAR) (Vienna, 11–14 June, 2018). Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63(5):77-88. Russian.

DOI: 10.12737/article\_5bc897fcddd2d8.49109633