

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

**МЕДИЦИНСКАЯ
РАДИОЛОГИЯ
И
РАДИАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

**MEDICAL RADIOLOGY
AND
RADIATION SAFETY**

Meditinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost

2014

Том 59

№ 2

Периодический научный журнал. Издается с сентября 1956 года

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

Москва

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

Научный журнал

Scientific Journal

Издатель:

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

Главный редактор В.В. УЙБА

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

Редакционная коллегия (по рубрикам журнала):

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

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

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

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

Лучевая диагностика: И.Е. Тюрин

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

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

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

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

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

Помощь практическому врачу: А.Ю. Бушманов

Все статьи в журнале печатаются бесплатно

Заведующий редакцией Э.С. Зубенкова

Компьютерная верстка В.В. Колесниченко

Адрес редакции журнала:

123098, Москва, ул. Живописная, 46

Телефон: (499) 190-95-51

Address of Editorial Board:

46, Zhivopisnaya st., 123098, Moscow, Russia

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

E-mail: medradiol@fromru.com

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

Правила для авторов: Instructions for authors:

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

СОДЕРЖАНИЕ № 2 – 2014

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- 5 Радиационно-гигиенический мониторинг в районе размещения пункта временного хранения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева
Н.К. Шандала, А.А. Филонова, Е.С. Щелканова, М.К. Сневе, Н.Я. Новикова, М.П. Семенова, Р.А. Аладова, Т.И. Гимадова, Н.А. Бусарова, Р.И. Шеина, Л.Н. Волконская
- 13 Решение вопросов готовности и аварийного реагирования при радиационных авариях в ходе учений и тренировок с участием Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна
Л.С. Богданова, Е.И. Клименко

РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

- 23 Лучевые осложнения в эндоваскулярной хирургии
И.А. Галстян, Н.М. Надеждина, Н.М. Борисов
- 30 Ранняя эритропения при острой лучевой болезни от неравномерного облучения: возможные механизмы патогенеза
А.В. Барабанова, А.А. Гордеева, Н.В. Зиновьева

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ

- 39 Результаты сравнительного анализа эффективности различных методик паллиативной лучевой терапии у больных раком мочевого пузыря
Ю.В. Гуменецкая, Ю.С. Мардынский, И.А. Галидов, Ю.Б. Карякин

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

- 47 Первые результаты изучения биологического поведения суспензии на основе ^{186}Re , как патентного радиофармацевтического препарата для радиосинонуклеотидов
Г.Е. Кодина, В.Н. Корсунский, О.Е. Клементьева, А.О. Малышева, М.В. Жукова, Н.А. Таратоненкова

ОБЗОР

- 54 Метаболизм и биологическое действие соединений трития (история и современное состояние проблемы)
В.С. Калистратова, О.А. Кочетков, Д.И. Кабанов

ДИСКУССИЯ

- 68 Социальная приемлемость атомной энергетики и моральные дилеммы радиационной защиты
Е.М. Мелихова

ХРОНИКА

- 77 Женщина и радиация
А.К. Гуськова

В ПОМОЩЬ ПРАКТИЧЕСКОМУ ВРАЧУ

- 80 Случай успешного применения терапии быстрыми нейтронами у больной неблагоприятной прогностической группы с рефрактерной и рецидивирующей лимфомой Ходжкина
Л.И. Мусабаева, В.В. Великая, О.В. Грибова, Т.Л. Кравчук, Ж.А. Старцева

ЮБИЛЕЙ

- 85 К 90-летию со дня рождения А.К. Гуськовой

НЕКРОЛОГ

- 87 Памяти Ю.А. Израэля

CONTENTS № 2 – 2014

RADIATION SAFETY	5 Radiation Survey at Andreeva Bay Sites of Temporary Storage of the Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste <i>N.K. Shandala, A.A. Filonova, E.S. Shchelkanova, K. Sneve, N.Ya. Novikova, M.P. Semenova, R.A. Aladova, T.I. Gimadova, N.A. Busarova, R.I. Sheina, L.N. Volkonskaya</i> 13 Practical Implementation of Methodological Approaches to Emergency Preparedness and Response in Case of Radiation Accidents during Training and Exercises with A.I. Burnazyan FMBC Participation <i>L.S. Bogdanova, E.I. Klimenko</i>
RADIATION MEDICINE	23 Radiation Injuries at Endovascular Surgery <i>I.A. Galstyan, N.M. Nadejina, N.M. Borisov</i> 30 Early Erythropenia in Acute Radiation Disease after Non-Uniform Exposure: Possible Pathogenetic Mechanisms <i>A.V. Barabanova, A.A. Gordeeva, N.V. Zinovyeva</i>
RADIATION THERAPY	39 Results of a Comparative Analysis of the Effectiveness of Different Methods of Palliative Radiation Therapy for Bladder Cancer <i>Yu.V. Gumenetskaya, Yu.S. Mardynsky, I.A. Gulidov, O.B. Karyakin</i>
NUCLEAR MEDICINE	47 Preliminary Biological Evaluation of ^{188}Re-Sn Suspension as Promising Radiopharmaceutical for Radiosynovectomy <i>G.E. Kodina, V.N. Korsunsky, O.E. Klementyeva, A.O. Malysheva, M.V. Zhukova, N.A. Taratonenkova</i>
REVIEW	54 Metabolism and Biological Activity of the Tritium Compounds (History and Current State of Problem) <i>V.S. Kalistratova, O.A. Kochetkov, D.I. Kabanov</i>
DISCUSSION	68 Social Acceptability of Nuclear Power and Moral Dilemmas of Radiation Protection <i>E.M. Melikhova</i>
CHRONICLE	77 Woman and Radiation <i>A.K. Gouskova</i>
MEDICAL PRACTICE ISSUE	80 A Case Report of Successful Treatment of Refractory/ Recurrent Hodgkin Lymphoma by Fast Neutrons <i>L.I. Musabaeva, V.V. Velikaya, O.V. Gribova, T.L. Kravchuk, Zh.A. Startseva</i>
JUBILEE	85 On 90th anniversary of A.K. Gouskova
COMMEMORATION	87 Commemoration of Yu.A. Israel

**Н.К. Шандала¹, А.А. Филонова¹, Е.С. Щелканова², М.К. Сневе³,
Н.Я. Новикова¹, М.П. Семенова¹, Р.А. Аладова¹, Т.И. Гимадова¹,
Н.А. Бусарова¹, Р.И. Шеина¹, Л.Н. Волконская¹**

**РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПУНКТА ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ
ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА И РАДИОАКТИВНЫХ
ОТХОДОВ В ГУБЕ АНДРЕЕВА**

**N.K. Shandala¹, A.A. Filonova¹, E.S. Shchelkanova², K. Sneve³,
N.Ya. Novikova¹, M.P. Semenova¹, R.A. Aladova¹, T.I. Gimadova¹,
N.A. Busarova¹, R.I. Sheina¹, L.N. Volkonskaya¹**

**Radiation Survey at Andreeva Bay Sites of Temporary Storage of the Spent
Nuclear Fuel and Radioactive Waste**

СОДЕРЖАНИЕ

Цель: Изучить радиационно-гигиеническую обстановку и оценить дозы облучения населения, проживающего и/или работающего на пункте временного хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и радиоактивных отходов в губе Андреева.

Материал и методы: В 2005–2013 гг. в ходе 13 экспедиционных выездов были отобраны и исследованы более 300 проб объектов окружающей среды, местных пищевых продуктов и питьевой воды, а также проведен индивидуальный дозиметрический контроль населения и на местности. Контрольные точки расположены на контролируемой территории – в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. Методы – гамма-спектрометрический, радиохимический, радиометрический, дозиметрический.

Результаты: Созданные условия хранения ОЯТ и радиоактивных отходов привели к тому, что часть хранящихся материалов за время хранения значительно деградировала. Более того, значительные количества радионуклидов уже проникли в почву в районе хранилищ. Показано, что на промплощадке имеются загрязненные участки территории, на которых мощность дозы гамма-излучения достигает 140 мкЗв/ч. Существенного влияния промплощадки на прилегающую территорию зоны наблюдения и на население не выявлено, за исключением морской среды в прибрежных зонах – повышенного содержания радионуклидов в донных отложениях и водорослях. Содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в объектах окружающей среды зоны наблюдения находится на фоновом уровне, характерном для данного региона.

Выводы: Радиационная обстановка в санитарно-защитной зоне существенно усложняет безопасное обращение с хранящимися радиоактивными материалами, при удалении которых необходимо обеспечить специальные регулирующие требования по реабилитации. Во-первых, это – обеспечение радиационной безопасности персонала, занятого в реабилитационных работах, когда существует угроза повышенного внутреннего и внешнего облучения. Во-вторых, защита окружающей среды, когда нельзя допустить значимого выхода радиоактивности за пределы промплощадки.

Ключевые слова: пункт временного хранения, санитарно-защитная зона, зона наблюдения, объекты окружающей среды, местные пищевые продукты, индивидуальный дозиметрический контроль, эффективная доза

CONTENT

Purpose: To investigate the radiation-hygienic situation and to estimate effective doses to the public, who live and/or work (workers of B personnel category) at Andreeva Bay sites of temporary storage of the spent nuclear fuel and radioactive waste.

Material and methods: During 2005–2013, 13 expeditions have been made and more than 300 samples of the environmental media, local foodstuffs and drinking water have been collected; personal dose monitoring of the public has been made, as well as *in-situ* dosimetry. Monitoring points were located within the health protection zone and surveillance area. The samples were examined by gamma-spectrometry, radiochemistry, radiometry and dosimetry methods.

Results: Current conditions of the spent nuclear fuel and radioactive waste storage at sites of temporary storage (STS) have caused substantial degradation of some part of spent nuclear fuel during its storage. As a result, radionuclides have already penetrated into the soil near the storage areas at the depth of a few meters. Some areas on the sites had high dose rates – up to about 140 μSv/h – due to contamination from past spent fuel storage practices. The obtained results suggest that currently there are no major radiological impacts of the STS sites on the adjacent territory and population, with the possible exception of the sea media in the coastal areas (bottom sediments, seaweeds). The concentrations of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in the environmental media are at background levels typical for the present region.

Conclusions: Radiation situation at STS in Andreeva Bay is significant and complicates the safe management of work to remove the spent nuclear fuel and stored radioactive waste. On-site measurements suggest that remediation work will have to be planned with taking into account the on-site contamination in two ways. Firstly, the activity levels will present external and internal exposure hazards to workers involved in remedial operations. Secondly, the spent nuclear fuel removal must be planned so as not to disturb and, hence release, significant contamination from the sites.

Key words: site of temporary storage, health protection zone, surveillance area, environmental media, local foodstuffs, personal dose monitoring, effective dose

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

² Северо-Западный Центр по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО», Мурманск

³ Государственное управление Норвегии по ядерной и радиационной безопасности (NRPA), Осло, Норвегия

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

² Northwest Center for Radioactive Waste Management SevRAO (NWC SevRAO – Branch of RosRAO), Murmansk, Russia

³ Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA), Oslo, Norway

Введение

В северо-западном регионе России в 60-е годы были созданы две береговые технические базы Военно-морского флота (Губа Андреева Кольского залива, поселок Гремиха на побережье Баренцева моря), которые обеспечивали эксплуатацию атомных подводных лодок, осуществляя прием и хранение свежего и отработанного ядерного топлива (ОЯТ), твердых и жидких радиоактивных отходов (РАО). С 1985 г. функционирование этих баз по приему радиоактивных веществ было прекращено. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации в 2001 г. базы были переданы в ведение минатома России с целью их реабилитации. Береговые технические базы, в настоящее время переименованные в пункты временного хранения (ПВХ), находятся в хозяйственном ведении Федерального государственного унитарного предприятия «СевРАО».

ПВХ Заозерского филиала «СевРАО» в Губе Андреева, расположенный в прибрежной полосе Баренцева моря (Мотовский залив, западный берег губы Западная Лица) является самым крупным объектом, на территории которого хранятся исторически-накопленные в ходе деятельности ВМФ ОЯТ и РАО. Ближайшие по расположению к ПВХ Губы Андреева населенные пункты: пос. Нерпичье (1,8 км); пос. Большая Лопатка (2,4 км) и населенный пункт ЗАТО г. Заозерск (в 8 км на восток). Площадь городской территории г. Заозерска — 520 га. На 01.01.2004 г. численность населения города составила 13 200 человек, в основном, семьи военных. По данным на 2004 г., в ПВХ Губы Андреева сосредоточено около $1,3 \times 10^{17}$ Бк ОЯТ со сроком хранения более 25 лет, и около $6,6 \times 10^{14}$ Бк РАО. Основными радионуклидами являются продукты деления ^{137}Cs и ^{90}Sr при незначительном вкладе актиноидов (доли процентов), что важно учитывать в случае долговременного обращения с РАО. Отсутствие своевременных решений по обеспечению безопасных условий хранения ядерных материалов на ПВХ привели к тому, что часть упаковок за время хранения значительно деградировали. Потенциал распространения данного загрязнения формирует дополнительные риски как локального, так и регионального масштаба [1].

Исследования по оценке радиологических угроз от ПВХ, проведенные с целью качественной идентификации наиболее важных и перспективных проблем, находящихся в сфере ответственности санитарно-эпидемиологического надзора Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России), показали, что оценить реальные дозы облучения населения на основании имеющихся данных весьма затруднительно, так как многие параметры радиационно-гигиенической обстановки не изучены.

Имеющийся объем информации о радиационной обстановке вне территории ПВХ в Губе Андреева недостаточен для создания полной и объективной картины воздействия ПВХ на человека и окружающую среду [2, 3].

Цель настоящей работы заключается в получении полноценной информации о текущем состоянии радиоактивности окружающей среды на ПВХ в Губе Андреева при уже начавшихся работах по реабилитации, в частности улучшения инфраструктуры объектов ПВХ, а также оценке доз облучения населения, проживающего и/или работающего на ПВХ.

В данной статье излагаются результаты, полученные по проектам, выполняемым согласно соглашению между ФМБА России и Государственным управлением Норвегии по ядерной и радиационной безопасности.

Материал и методы

Методологической основой работы является исследовательский радиационно-гигиенический мониторинг, под которым понимается проведение комплексного динамического наблюдения и контроля параметров радиационно-гигиенической обстановки в районах расположения радиационно опасных объектов [4, 5].

В 2005–2013 гг. бригадой сотрудников ФМБЦ им. А.И. Бурназяна были осуществлены 13 экспедиционных выездов в Северо-западный филиал ФГУП «СевРАО» — на ПВХ Губы Андреева. На первоначальном этапе были выбраны и согласованы точки радиационно-гигиенического мониторинга, рассматриваемые как реперные для долгосрочного наблюдения в ходе планируемых работ по реабилитации территорий и зданий ПВХ. При выборе показанных на рисунке точек контроля руководствовались планами по реабилитации территорий и зданий ПВХ, результатами предварительной оценки угроз и результатами лабораторного радиационного контроля, осуществляемого на ПВХ [2, 3, 6].

Контрольные точки на территории ПВХ располагаются на контролируемой территории: в соответствии с требованиями ОСПОРБ-99 [7] на территории ПВХ выделены следующие зоны:

- зона строгого режима (ЗСР);
- зона режима радиационной безопасности (ЗРБ);
- санитарно-защитная зона (СЗЗ);
- зона наблюдения (ЗН).

Территория ЗСР оборудована санитарными пропускниками; здесь определен специальный режим работы и используются средства индивидуальной защиты для обеспечения радиационной защиты персонала.

Отобранные пробы объектов окружающей среды исследовали с помощью гамма-спектрометрического, радиохимического и радиометрического методов.

При гамма-спектрометрическом анализе пробы помещались в сосуд Маринелли объемом 0,5 л. Регистрация ^{137}Cs осуществлялась по гамма-линии 661,6 кэВ, ^{60}Co — по линиям 1170 кэВ и 1330 кэВ. Минимально детектируемая активность при времени измерения 84000–343650 секунд составляла 0,1–0,25 Бк для ^{137}Cs и 0,1–0,3 Бк для ^{60}Co (при $p = 0,95$) [8]. Определение ^{90}Sr производили радиохимическим методом по оксалатной методике [9] и методике экстракцией ^{90}Y моноизооктиловым эфиром метилфосфоновой кислоты [10]. В некоторых низкоактивных пробах ^{137}Cs определяли также радиохимическим методом [11]. Минимально измеряемая активность на установке малого фона при времени измерения 180 мин составляла: для ^{90}Sr — 0,11 Бк; для ^{137}Cs — 0,23 Бк.

Для проведения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) использовались детекторы трех типов — детекторы ТЛД-500К на основе корунда Al_2O_3 и детекторы ДТГ-4 на основе монокристаллов фтористого лития в кассетах DTU, а также детекторы ПСТ (пластина стеклянная термолуминесцентная на основе алюмофосфатного стекла) в кассетах ИКС-А.

Результаты

Характеристика основных параметров радиационной обстановки на территории ПВХ в Губе Андреева. В табл. 1 приведены результаты изучения содержания радионуклидов в пробах объектов окружающей среды и местных пищевых продуктах, отобранных на территории ПВХ в Губе Андреева в ходе экспедиционных выездов.

Мощность дозы γ -излучения. Мощность дозы гамма-излучения на территории ПВХ изменяется в широком диапазоне: в ЗСР — от 0,2 до 140 мкЗв/ч (максимальные значения наблюдались в районе устья бывшего ручья у здания 5 и на старом технологическом пирсе); в зоне возможного радиационного загрязнения — от 0,2 до 12 мкЗв/ч, на остальной территории СЗЗ и ЗН — от 0,063 до 0,14 мкЗв/ч при среднем значении 0,12 мкЗв/ч. Мощность дозы γ -излучения за территорией ПВХ (в ЗН и на территории г. Заозерск) существенно не отличается от уровней, характерных для фоновых (чистых) территорий северо-запада России, в частности, Мурманской области. На территории вблизи радиационных объектов мощность дозы гамма-излучения формируются от излучения загрязненной почвы и излучения от радиоактивных веществ, находящихся внутри объектов, прошедшего через стены зданий. При этом последнее «проникаю-

щее» γ -излучение, по нашим оценкам, может давать основной вклад в мощность дозы вблизи объектов.

Почва и растительность. В табл. 2 и 3 обобщены данные (максимальные и минимальные уровни) по удельным активностям радионуклидов в почве и растительности. Как следует из приведенных в табл. 2 данных, на территории промплощадки ПВХ отмечено техногенное загрязнение почвенного покрова ^{137}Cs и ^{90}Sr на отдельных участках, превышающее фоновые значения для данного района в 100 и более раз. Уровни загрязнения почв ^{137}Cs в 4–20 раз выше, чем ^{90}Sr . Максимальные уровни радиоактивного загрязнения почвы на территории площадки ПВХ наблюдаются в районе старого технологического пирса. Кроме поверхностного загрязнения почвы, на территории ПВХ имеются локальные участки со значительными загрязнениями техногенными радионуклидами по профилю почвы:

- в районе здания «мокрого хранения» отработанных тепловыделяющих сборок до $2,6 \times 10^6$ Бк/кг по ^{137}Cs и $1,2 \times 10^4$ Бк/кг по ^{90}Sr на глубине 2,7 и 5,6 м соответственно;
- в районе блока сухого хранения до $7,0 \times 10^5$ Бк/кг по ^{137}Cs на глубине 5,6 м;
- на площадке хранения твердых и жидких РАО до 6×10^3 Бк/кг по ^{137}Cs и $5,4 \times 10^4$ Бк/кг по ^{90}Sr на глубине 6,5 и 15,6 м соответственно.
- Указанные локальные участки с глубинным загрязнением грунта не представляют серьезной опасности с точки зрения внешнего облучения человека, но способствуют стойкому загрязнению подземных вод, что в конечном итоге может привести к загрязнению морской воды.

Соотношение ^{137}Cs и ^{90}Sr в поверхностном почвенном покрове на площадке ПВХ составляло 4, причем на глубине до 5 м это соотношение было почти в 6 раз ниже (0,71), что говорит об интенсивной миграции ^{90}Sr . Соотношение ^{137}Cs и ^{90}Sr за площадкой на территории СЗЗ и ЗН превышает соотношение, характерное для глобальных выпадений, составляющее 1,5–2.

Согласно материалам табл. 3, наибольшее загрязнение растительности и почвы характерно для территории ЗСР. Среднее содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве и растительности вне ЗСР, т.е. за промышленной площадкой, находится на уровне фоновых значений, характерных для незагрязненных территорий севера России.

Донные отложения и водоросли. Концентрация ^{137}Cs в донных отложениях береговой полосы ПВХ составляет 100 Бк/кг в районе устья бывшего ручья и 36 Бк/кг за ограждением СЗЗ, что значительно (до 25 раз) превышает фоновые значения. Содержание ^{90}Sr в этих же пробах донных отложений изменя-

Таблица 1

Содержание радионуклидов в пробах, отобранных в СЗЗ и ЗН ПВХ в Губе Андреева

№№ п/п	Место отбора	Объект исследования	Активность, Бк/кг, л	
		⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	
Зона режима радиационной безопасности и санитарно-защитная зона				
1	Долина ручья у КПП-12	Почва супесчаная	2,9	36,0
2	Долина ручья у КПП-12	Растительность (разнотравье, кувшинки)	1,65	1,7
3	Устье бывшего ручья	Морская вода	0,03	0,04
4	Устье бывшего ручья, в 20 м от берегового среза при полной воде	Донные отложения	36,6	1,0×10 ²
5	Устье бывшего ручья	Почва (дерновая), рядом с березой	1,5×10 ⁵	3,8×10 ⁵
6	Устье бывшего ручья	Растительность (разнотравье, фиалки)	3,2×10 ⁵	4,7×10 ³
7	Устье бывшего ручья, в 2 м от берегового среза при полной воде	Водоросли, фитопланктон-ламинария ба- ренцевоморская	6,9×10 ²	56,3
8	В 5 м от 67 здания, в р-не хранилища ЖРО	Подземная вода (скважина № 4097)	4,2×10 ²	1,7
9	Земляной накат на монжусной	Почва	5,0×10 ²	1×0×10 ³
10	В 15 м вниз от торца здания 5	Подземная вода (скважина № 4092)	1,5×10 ²	1,0
11	В 15 м вниз от торца здания	Почва (торф естественный)	2,1×10 ²	1,1×10 ³
12	Пирс стационарный	Рыба морская — сайда	0,99	1,6
13	Пирс стационарный	Рыба морская: треска, сельдь, пикша	0,57	0,4
14	Морской пропускной пункт, между двумя пирсами	Водоросли, фитопланктон	6,4	2,0
15	Емкость 2Б блока сухого хранения ОЯТ	Почва (чернозем)	1,2×10 ³	9,4×10 ³
16	Площадка 3	Вороника	9,4	23,7
17	Площадка 3	Грибы сухие (сборные)	49,6	2,6×10 ³
18	Площадка 3	Почва	5,9×10 ²	5,4×10 ³
19	Блок сухого хранения ОЯТ, у аварийного выхода	Почва	2,2×10 ²	4,3×10 ³
Зона наблюдения				
20	Берег ручья у озера Подкова	Почва (глинозем, болотистая)	1,2	1,4
21	Берег ручья у озера Подкова	Растительность (разнотравье, цветение мо- рошки, черники, хвощ, осока)	2,2	5,0
22	Вдоль дороги за контрольно-пропускным пунктом 1 (КПП-1)	Почва (торфяник)	1,8	8,0
23	Вдоль дороги за КПП-1	Растительность (трава, цветение брусники и черники)	7,6	8,6
24	Водозабор озера Питьевое	Вода питьевая	0,001	0,019
25	В 5 м от береговой полосы Баренцева моря	Водоросли, фитопланктон — ламинария ба- ренцевоморская	0,75	1,77
26	В 10 м от береговой полосы за ограждением СЗЗ	Донные отложения	2,0	30,0
27	Лес, урожай 2004 г., 4 км от ПВХ	Грибы подосиновики	0,24	20,0
28	Вдоль дороги за КПП-1	Брусника	0,28	1,9
29	Море, в 3 м за СЗЗ	Панцирь краба	3,1	6,0
30	За КПП-1	Грибы (белые, подберезовики)	17,2	34,2

ется от 36,6 до 2 Бк/кг, превышая фон более чем в 20 раз. Содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в водорослях превышало фоновое содержание данных радионуклидов в несколько раз по ¹³⁷Cs и более чем в 50 раз по ⁹⁰Sr. Максимальные уровни загрязнения имели место у водорослей, отобранных в море в проекции к бывшему ручью, протекавшему под зданием 5. За пределами промышленной площадки и на территории СЗЗ загрязнение водорослей практически соответствует фоновым значениям [12–15].

Морская вода. В пробе воды из Баренцева моря (Мотовский залив у побережья ПВХ Заозерского филиала) содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr находилось на уровне 0,04 и 0,03 Бк/л соответственно. Полученные данные более чем в 10 раз превышают средние фоновые значения концентраций ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воде Баренцева моря, составляющие по данным [16] 0,006 (¹³⁷Cs) и 0,004 Бк/л (⁹⁰Sr).

Питьевая вода. Источником водоснабжения ПВХ является озеро Питьево. Содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в питьевой воде, используемой на территории ПВХ ЗФ, составляет 0,02 и 0,001 Бк/л, соответственно. Концентрации ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в питьевой воде существенно ниже (в 550 и 5000 раз соответственно) имеющихся радиационно-гигиенических нормативов для питьевой воды – уровней вмешательства, составляющих для ¹³⁷Cs – 11 Бк/л, а для ⁹⁰Sr – 5 Бк/л согласно [17].

Пищевые продукты. Население Заозерска потребляет привозные пищевые продукты, за исключением дикорастущих ягод и грибов. Содержание радионуклидов в привозных пищевых продуктах находится на уровне среднего содержания по Мурманской области. Удельные активности дикорастущих ягод, грибов и морской рыбы, потребляемых населением, проживающим в районах ПВХ, приведены в табл. 4 в сравнении с существующими в России нормативами [18].

Таблица 2

**Содержание радионуклидов в почве ПВХ
в Губе Андреева**

Место измерения	Радионуклид	Удельная активность, Бк/кг	
		Минимальная	Максимальная
ЗСР	¹³⁷ Cs	550	5,7×10 ⁷
	⁹⁰ Sr	64	5,7×10 ⁶
Район блока сухого хранения	¹³⁷ Cs	<30	9,4×10 ³
	⁹⁰ Sr	1,2×10 ³	
СЗЗ (500–900 м от ЗСР)	¹³⁷ Cs	6	36
	⁹⁰ Sr	2,9	4,1
ЗН (1000 м от ЗСР)	¹³⁷ Cs	7,9	8,3
	⁹⁰ Sr	1,8	3,2
ЗН – озеро Подкова (3000 м от ЗСР)	¹³⁷ Cs	1,4	9
	⁹⁰ Sr	1,2	3,1
Фоновые значения	¹³⁷ Cs	1–50	
	⁹⁰ Sr	1–20	

Как видно из табл. 4, удельные активности радионуклидов в местных пищевых продуктах, отобранных на территории ПВХ и ЗН, существенно ниже действующих в России нормативов, за исключением грибов, собранных в ЗСР, и находятся на уровне средних значений содержания этих радионуклидов по России.

Эффективные дозы облучения населения, проживающего в районе размещения ПВХ Губы Андреева

Индивидуальный дозиметрический контроль и дозиметрия на местности. По результатам ИДК, дозы внешнего облучения у населения, проживающего и работающего в Заозерске, за время ношения дозиметров в течение 100 сут в летне-осенний период варьируют от 0,21 до 0,27 мЗв при среднем значении 0,23 мЗв. Средняя индивидуальная доза у персонала группы Б (8 человек) за этот же период времени составила 0,22 мЗв при разбросе 0,19–0,28 мЗв. Статистически значимого различия в дозах двух групп – персонал группы Б и население не отмечено.

Параллельно, в этот же период времени, были расставлены дозиметры на местности, которые экспонировались 100 сут. В результате доза на открытой местности Заозерска и на территории ЗН (до 6 км от границы ПВХ) изменялась в пределах от 0,18 до 0,25 мЗв при среднем значении 0,22 мЗв, что соответствует дозам от космического излучения и излучения естественных радионуклидов, содержащихся в почве данной местности. Что касается СЗЗ ПВХ, то дозы внешнего облучения на местности за тот же срок и период экспонирования оцениваются на уровне существенно более высоких значений – от 2 до 1500 раз выше по сравнению с ЗН. Максимальные значения доз на местности – 1240 мЗв/год – формируются вблизи насыпи у здания 5, а также в районе бывшего русла ручья, ранее протекавшего под здани-

Таблица 3

**Содержание радионуклидов в растительности
ПВХ Губы Андреева**

Место измерения	Радионуклид	Удельная активность, Бк/кг	
		Минимальная	Максимальная
ЗСР	¹³⁷ Cs	4,7×10 ³	4,7×10 ³
	⁹⁰ Sr		
СЗЗ – контрольно-пропускной пункт № 12, административно-бытовой комплекс (500–900 м от ЗСР)	¹³⁷ Cs	1,0	4,4
	⁹⁰ Sr	0,7	12,7
ЗН (1000 м от ЗСР)	¹³⁷ Cs	< 3	8,6
	⁹⁰ Sr	0,66	7,6
ЗН–озеро Подкова (3000 м от ЗСР)	¹³⁷ Cs	0,93	9
	⁹⁰ Sr	0,61	2,2

ем 5,–700 мЗв/год. В районе блока сухого хранения уровни внешнего излучения на местности составляют 12 мЗв/год. В воде Мотовского залива Баренцева моря на расстоянии 10 метров от берега доза на местности составляет 2,2 мЗв/год, что более чем в два раза выше по сравнению с естественным фоном. Такое же значение дозы наблюдается и в районе здания 50, где расположена лаборатория отдела радиационной безопасности ПВХ Заозерского филиала.

Оценка доз внешнего облучения. По результатам ИДК и гамма-съемки среднегодовая эффективная доза (ЭД) внешнего облучения населения на территории ЗН и в г. Заозерск составляет 0,7 мЗв/год. Данные дозы обусловлены космическим излучением, глобальными выпадениями и излучением природных радионуклидов, содержащихся в почве и строительных материалах, характерных для данной местности. Влияние техногенного облучения от деятельности ПВХ не выявлено. Среднегодовая ЭД внешнего облучения персонала группы Б значимо не отличается от доз облучения населения и составляет 0,87 мЗв/год. По оценкам, выполненным на основании результатов гамма-съемки на территории СЗЗ, максимальный вклад в дозу внешнего облучения персонала группы Б от техногенного облучения не превысит 20 %.

Оценка доз внутреннего облучения. ЭД внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов для населения, проживающего в ЗН, составляет 14 мкЗв/год. Вклад в дозу внутреннего облучения дикорастущей компоненты рациона не превышает 8 %.

Полученное значение примерно в 1,5–2 раза выше доз внутреннего облучения населения, проживающего в ЗН ряда АЭС России и в городе Москве, которые составляют 6–9,5 мкЗв/год [19, 20, 21].

Суммарные эффективные дозы (ЭД). В соответствии с рекомендациями МКРЗ и документом МАГАТЭ [22, 23], при реабилитации загрязненных территорий следует руководствоваться значением существующей среднегодовой ЭД, которая является дозой, обусловленной суммированием ЭД за счет следующих источников ионизирующего излучения: техногенные источники, глобальные выпадения, природные источники. В данном исследовании оценку доз внутреннего облучения, обусловленную природными радионуклидами, не проводили, тогда как доза внешнего облучения оценена с учетом природной радиоактивности. С учетом указанных допущений суммарная ЭД облучения населения, проживающего в ЗН ПВХ Губы Андреева, может быть оценена на уровне 0,8–0,9 мЗв/год.

Обсуждение

При изучении текущей радиационной обстановки, сложившейся в СЗЗ и ЗН ПВХ ОЯТ и РАО в Губе Андреева в 2005–2013 гг., в качестве методической основы использован радиационно-гигиенический мониторинг, результаты которого следующим образом позволяют охарактеризовать радиационно-гигиеническую обстановку в СЗЗ и ЗН ПВХ:

1. Мощность дозы γ -излучения на территории ПВХ изменяется в широком диапазоне. В частности, в зоне строго радиационного контроля — от 0,2 до 140 мкЗв/час. Максимальные значения здесь наблюдались вблизи радиационно-опасных объектов и в районе устья бывшего ручья у здания 5. В зоне возможного радиационного загрязнения — от 0,2 до 12 мкЗв/ч. На территории СЗЗ и ЗН — от 0,063 до 0,14 мкЗв/ч при среднем значении 0,12 мкЗв/ч. Мощность дозы γ -излучения за площадкой существенно не отличается от уровней, характерных для территорий северо-запада России, в частности Мурманской области.
2. Максимальные уровни радиоактивного загрязнения почвы на территории площадки ПВХ наблюдаются в районе старого технологического пирса, а также вокруг блока сухого хранения, где содержание ^{137}Cs достигает $5,7 \times 10^7$ Бк/кг, содержание ^{90}Sr при этом — на порядок меньше. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве за площадкой в СЗЗ и ЗН, на расстоянии более 900 м находится на уровне фоновых значений, характерных для незагрязненных территорий севера России, не превышая 36 Бк/кг по ^{137}Cs и 4 Бк/кг по ^{90}Sr .
3. Содержание ^{137}Cs в растительности на территории зоны строгого режима составляет $4,7 \times 10^3$ Бк/кг. На территории СЗЗ и ЗН максимальное содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительности составляет, соответ-

ственно, 9 и 12,7 Бк/кг, что не превышает фоновых значений для этих радионуклидов.

4. Концентрация ^{137}Cs в донных отложениях береговой полосы ПВХ ЗФ составляет 100 Бк/кг в районе устья бывшего ручья и 36 Бк/кг за ограждением СЗЗ, что значительно (до 25 раз) превышает фоновые значения. Содержание ^{90}Sr в этих же пробах донных отложений варьирует от 36,6 до 2 Бк/кг, превышая фон более чем в 20 раз. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в водорослях незначительно превышает фоновые показатели.
5. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в Баренцевом море составляет соответственно, 0,04 и 0,03 Бк/л, что более чем на порядок превышает средние фоновые значения концентраций этих радионуклидов.
6. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в питьевой воде, используемой на территории ПВХ ЗФ, составляет 0,02 и 0,001 Бк/л соответственно, что от 550 до 5000 раз ниже уровней вмешательства в питьевой воде для ^{137}Cs и ^{90}Sr .
7. Удельные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в местных пищевых продуктах (ягоды, грибы, морская рыба), отобранных на территории ЗН за пределами ПВХ, не превышает имеющихся допустимых радиационно-гигиенических нормативов.
8. Дозы внешнего гамма-облучения населения и персонала группы Б составляют соответственно 0,77 и 0,87 мЗв/год, вклад техногенного облучения за счет ПВХ не превышает 20 %. Доза внутреннего облучения населения, обусловленная поступлением ^{137}Cs и ^{90}Sr с рационом, составляет 14 мкЗв/год. Вклад в дозу внутреннего облучения дикорастущей компоненты рациона не превышает 8 %. Суммарная ЭД населения, проживающего в ЗН ПВХ Губы Андреева, оценена на уровне 0,8–0,9 мЗв/год.
9. Для статистически значимого выявления динамики изменения радиационного фона в ЗН в результате существования и деятельности ПВХ необходимо проведение исследовательского радиационно-гигиенического мониторинга.

Заключение

В целом, полученные результаты показывают, что на сегодняшний день существенного влияния промышленной площадки ПВХ на прилегающую территорию ЗН не отмечается, за исключением морской среды в прибрежных зонах (донные отложения, водоросли). Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах окружающей среды ЗН и мощности дозы внешнего гамма-облучения находятся, в основном, на фоновом уровне [24–26].

Радиационная обстановка в СЗЗ, на промышленной площадке, характеризуется существенным превышением ряда радиационно-гигиенических по-

казателей, что диктует необходимость выработки специальных требований по регулированию в условиях уже осуществляемых широкомасштабных работ по реабилитации зданий, сооружений и территории ПВХ. На нынешнем этапе реабилитация площадок должна быть проведена до уровней, позволяющих обеспечить безопасное проведение работ персоналом. При важности проведения регулирующих мероприятий, позволяющих ограничить внутреннее и внешнее облучение персонала, немаловажное значение имеет выполнение мероприятий, реализация которых устранит источники загрязнения окружающей среды и минимизирует риск проникновения распространения радиоактивности за пределы промышленной площадки ПВХ.

В настоящее время на объекте ведутся необходимые работы по частичной реабилитации территории и подготовки к вывозу ОЯТ. Ранее, в 2009–2011 гг. был осуществлен вывоз первых партий ОЯТ на танкере «Серебрянка». При этом фактические дозы персонала составили чуть более 1 % от прогнозных показателей и не превышали контрольных уровней. Соответственно, данные операции не могли и не повлияли с точки зрения дополнительных дозовых нагрузок на население. В соответствии с планом работ, широкомасштабный вывоз ОЯТ с территории ПВХ намечен на 2015–2020 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shandala N., Kiselev M., Ilin L., Kochetkov O. et al.* Medical Risk Assessment /NATO Workshop on Radiation and Environmental Safety, December 8–10, 2004, Moscow // NATO Science Series IV – Earth and Environmental Sciences, 2005, P. 195–211.
2. *Кочетков О.А., Симаков А.В., Шандала Н.К. и соавт.* Предварительная оценка обстановки. Радиационные риски, обусловленные деятельностью объектов СевРАО, находящихся в сфере надзора ФМБА. Под ред. Л.А. Ильина. Норвежское агентство по радиационной защите, Осло, 2005, № 18, 67 p.
3. *Ilin L., Kochetkov O., Simakov A., Shandala N. et al.* Initial threat assessment: Radiological risks associated with SevRAO facilities falling within the regulatory supervision responsibilities of FMBA. // Norwegian Radiation Protection Authority, Oslo, 2005, No. 17, 58 pp.
4. Внедрение показателей радиационной безопасности о состоянии объектов окружающей среды, в т.ч. продовольственного сырья и пищевых продуктов в систему социально-гигиенического мониторинга. Методические указания. – М.: Минздрав России, 2004, 24 с.
5. *Ильин Л.А., Шандала Н.К., Савкин М.Н. и соавт.* Место и роль радиационно-гигиенического мониторинга в системе социально-гигиенического мониторинга. // Гигиена и санитария, 2004, № 5, С. 9–15.
6. Годовой отчет промышленно-санитарной лаборатории за 2004 год по ЗФ №1 «СевРАО». // ЦГСЭН–120. ЗАТО Снежногорск Мурманской обл., 2004, 26 с.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10 – М.: Минздрав России, 2000, 79 с.
8. Рекомендации Государственной системы обеспечения единства измерений. Активность радионуклидов в объемных образцах. МВИ на гамма-спектрометре. – М., 2000, 14 с.
9. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. Под ред. А.Н. Мареев. – М.: Институт биофизики МЗ СССР, 1980, 336 с.
10. Стронций-90. Определение в пищевых продуктах. Методические указания. МУ 2.6.1.32. – М., 2003, 21 с.
11. Цезий-137. Определение в пищевых продуктах. Методические указания. МУ 2.6.1.31. – М., 2003, 22 с.
12. *Sneve M., Kochetkov O., Shandala N., Klimova N., Smith G.* Requirements for radioecology studies for improved environmental management of nuclear sites and facilities in northern latitudes. In: Proc. of the 6th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic. *Strand P., Børretzen P., Jølle T.*, eds., 2–6 Oct. 2005, Nice. Proceedings. Norwegian Radiation Protection Authority, Oslo, 2005, P. 23–27.
13. *Ilyin L.A., Sneve M.K., Shandala N.K. et al.* Regulatory examination of the radiation-hygienic situation at sites of temporary storage in the North-West Russia prior to the beginning of major spent fuel removal works. // In: International Conference on Effective Nuclear Regulatory Systems, Moscow, 27 Feb. – 3 March 2006. IAEA, 2006, P. 8.
14. *Shandala N.K., Sneve M.K., Titov A.V. et al.* Assessment of the current radioactive contamination of the site and water area of the site for SNF and RW temporary storage in Gremikha village, Murmansk region. // In: Medicine of the Extreme Situations, 2007 – No. 1 (19), P. 27–36.
15. Progress report on the Regulatory Cooperation Program between the Norwegian Radiation Protection Authority and the Federal Medical Biological Agency of Russia. Projects and other activities completed in 2008–2009 and Plans for 2010–2011. // Statens Stralevern Norwegian Radiation Protection Authority. Stralevern Rapport. – 2011, 7, 52 pp.
16. Краткие ежегодные справки о радиационной обстановке в Российской Федерации в 2004–2010 гг. Начальник УМЗОС полярных, морских работ и кадров Росгидромета В.В. Челюканов. – М., 2004–2010 гг.
17. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. Гигиенические нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09, Минздрав России, 1999, 70 с.

18. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-01 – М.: ФГУП «ИнтерСЭН», 2002, 168 с.
19. Ильин Л.А., Шандала Н.К., Савкин М.Н. и соавт. Состояние и перспективы мониторинга радиационно-гигиенической обстановки в районах АЭС. // Бюлл. по атомной энергии, 2004, № 4, С. 56–62; № 5, С. 66–71.
20. Шандала Н.К., Петухова Э.В., Савкин М.Н. и соавт. Результаты радиационного мониторинга в Москве. // Гигиена и санитария, 2001, № 1, С. 26–30.
21. Shandala N.K., Petuhova E.V., Novikova N.Ya. et al. Monitoring of radiation-hygiene situation in areas of disposition of nuclear power plants. //In: 11th International Congress on the International Radiation Protection Association, Madrid, 2004, P. 259–260.
22. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82. Annals of the ICRP, 2000, 29, No. 1/2, 44 pp.
23. Remediation of areas contaminated by past activities and accidents: Safety Requirements. Safety standards series No WS-R-3. –Vienna: IAEA, 2003, 24 pp.
24. Shandala N.K., Sneve M.K., Smith G.M. et al. Regulatory supervision of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. // J. Radiol. Protection, 2008, 28, P. 453–465.
25. Shandala N.K., Titov A.V., Sneve M.K. et al. Radiological criteria for the remediation of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. // J. Radiol. Protection, 2008, 28, P. 479–497.
26. Шандала Н.К., Куселев С.М., Титов А.В. и соавт. Регулирующий надзор и оценка радиационной обстановки в районах размещения бывших военных технических баз. // Гигиена и санитария, 2013, № 3, С. 15–19.

Поступила 20.01.2014

Принята к публикации: 11.02.2014

Лаборатория радиационной коммунальной гигиены ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России занимается вопросами обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего в районе расположения радиационно-опасных предприятий. Специалистами лаборатории проводятся исследования и практические работы на атомных объектах России.

Лаборатория оснащена современным оборудованием, позволяющим проводить радиометрические и спектрометрические измерения, а также радиохимическое выделение радионуклидов из проб объектов окружающей среды и пищевых продуктов.

На основе полученных результатов радиационно-гигиенического мониторинга разрабатываются регулирующие документы, учитывающие специфику объектов. Среди них: требования по обеспечению радиационной безопасности населения и окружающей среды; требования к проведению радиационного контроля объектов окружающей среды в районе деятельности ряда предприятий; критерии и нормативы реабилитации радиоактивно-загрязненных территорий.

Специалистами лаборатории разработаны и внедрены в практику методические **указания** по методам контроля:

- Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка.
- Свинец-210 и полоний-210. Определение удельной активности в пробах почвы, растительности и пищевых продуктов.
- Радий-226. Определение удельной активности в пробах почвы, растительности и пищевых продуктов.

Полученные результаты представлены в материалах конференций и опубликованы более чем в 340 статьях.



Женский коллектив лаборатории радиационной коммунальной гигиены

Сидят слева направо: Тамара Ивановна Гимадова, старший научный сотрудник; Раиса Ивановна Шеина, техник; и Нина Алексеевна Бусарова, инженер.

Стоят слева направо: Лариса Николаевна Волконская, техник; Анна Александровна Филонова, младший научный сотрудник; Наталия Константиновна Шандала, доктор медицинских наук, заместитель Генерального директора ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; Рената Александровна Аладова, инженер; Мария Петровна Семенова, старший научный сотрудник

Л.С. Богданова, Е.И. Клименко

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ГОТОВНОСТИ И АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ ПРИ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЯХ В ХОДЕ УЧЕНИЙ И ТРЕНИРОВОК С УЧАСТИЕМ ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО ЦЕНТРА им. А.И. БУРНАЗЯНА

L.S. Bogdanova, E.I. Klimenko

Practical Implementation of Methodological Approaches to Emergency Preparedness and Response in Case of Radiation Accidents during Training and Exercises with A.I. Burnazyan FMBC Participation

СОДЕРЖАНИЕ

Рассмотрены аспекты методологии аварийного медицинского реагирования в случае радиационных аварий и инцидентов, направленного на защиту населения и ликвидацию последствий радиационных аварийных ситуаций. Представлена сложившаяся практика организации и проведения учебно-тренировочных мероприятий с участием Аварийного медицинского радиационно-дозиметрического центра (АМРДЦ) Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна, в ходе которых отработывались вопросы методологии аварийного реагирования. Приведены примеры учений и тренировок, проводимых АМРДЦ с международным участием, самостоятельно, и в сотрудничестве с Госкорпорацией «Росатом».

Ключевые слова: радиационная безопасность, противоаварийное планирование, аварийное медицинское реагирование, радиационная авария, тренировка, учение, ликвидация последствий, аварийные центры, защитные

CONTENT

The article presents some aspects of the methodology for emergency medical response in the event of radiological accidents and incidents aimed to protect the population and to eliminate the consequences of radiological emergency. The established practices of the organization and conducting training activities involving emergency medical radiation dosimetry center (EMRDC) A. I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center are represented, during which questions of emergency response methodology have been practiced. There are examples of exercises and trainings conducted by EMRDC with international participation, independently and in collaboration with the State Corporation "Rosatom".

Key words: radiation safety, emergency preparedness, emergency medical response, radiological incident; training; exercise, mitigation of consequences; emergency centers, protective measures

Введение

В современных международных и отечественных подходах системы безопасности по защите населения и окружающей среды особое значение придается аварийной готовности и реагированию, выделяемым в отдельное организационно-методическое направление [1, 2].

Организация аварийного медицинского реагирования Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России) основывается на научно-методической поддержке, которая осуществляется региональными аварийными медицинскими радиационно-дозиметрическими центрами (РАМДЦ). Созданные в 2010 г. на базе ведущих научно-исследовательских институтов (НИИПММ и ЮУрИБФ) РАМДЦ расширили возможности экспертной помощи и обеспечивают необходимый уровень планирования и готовности медико-санитарного обеспечения в системе аварийного реагирования ФМБА России, оказывая научно-методическую поддержку деятельности ФМБА России и одновременно консультационно-практическую помощь территориаль-

ным учреждениям на местах. В качестве головного учреждения в составе РАМДЦ определен ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, структурным подразделением которого с 1999 г. является Аварийный медицинский радиационно-дозиметрический центр (АМРДЦ).

Деятельность АМРДЦ в случае радиационных аварийных ситуаций организуется на функциональной основе из состава сотрудников ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, соединяя работу профессионалов различных специальностей в единой технологии реагирования. Одним из важных принципов методологии аварийного реагирования является знание производственных технологий и возможных сценариев развития аварийной ситуации. Правильно сделанная оценка адекватно классифицирует аварийную ситуацию по структуре радиационных поражений и другим медицинским критериям, позволяет определить достаточность имеющихся сил и средств и подготовить предложения по ликвидации последствий радиационных аварий. В то же время, это служит основой противоаварийного планирования, когда к обеспечению готовности и медицинского реагирования при-

меняется дифференцированный подход в зависимости от потенциальной опасности объекта [3–6].

При аварийном реагировании важна реалистичность в оценке возможностей территориальных медицинских учреждений, чтобы планируемые противоаварийные мероприятия соответствовали возможностям медицинской базы, подготовке и квалификации персонала. Организация аварийного реагирования должна осуществляться в соответствии со складывающейся радиационной обстановкой, а в случае необходимости территориальный уровень реагирования может быть усилен федеральными силами. Для такого усиления территориальных органов, медико-санитарных частей и центров гигиены и эпидемиологии ФМБА России на базе РАМДЦ из состава ведущих специалистов образованы экспертные группы, созданы и оснащены выездные специализированные радиологические бригады (СРБ).

Основой успешной работы в аварийной ситуации является практическая отработка процедур и навыков реагирования при проведении противоаварийных учений и тренировок. За 15-летний период функционирования АМРДЦ сложилась определенная практика организации и проведения учебно-тренировочных мероприятий. В среднем ежегодно АМРДЦ принимает участие более чем в 10 тренировках разного уровня и степени участия. Только за последние пять лет АМРДЦ был участником более 60 тренировочных мероприятий.

Международные учения

Многokrатно АМРДЦ участвовал в международных учениях по линии Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ): серия ConVEx (2006, 2008, 2009, 2012, 2013), болгаро-румынских учениях «Наутилус-2011» и по линии РАНЕТ.

В ходе учений приобретаетcя опыт международного взаимодействия и функционирования в рамках международных систем реагирования, таких как Сеть по реагированию и оказанию помощи в случае ядерной аварии (РАНЕТ). Система МАГАТЭ по реагированию и оказанию помощи РАНЕТ является инструментом для практической реализации Конвенции об оказании помощи в случае ядерной аварии или радиационной чрезвычайной ситуации [7].

С 2012 г. ФМБЦ им. А.И. Бурназяна является зарегистрированным участником системы международного аварийного реагирования РАНЕТ по медико-гигиеническому направлению. Силы и ресурсы, которые ФМБЦ им. А.И. Бурназяна может предоставить по запросу МАГАТЭ:

- аварийная бригада медико-гигиенического профиля;

- экспертно-аналитическая поддержка;
- проведение специальных инструментальных исследований (биофизических, биохимических, клинических и др.).

Процедура участия АМРДЦ в международных учениях включает в себя:

- информационный обмен с МАГАТЭ и ВОЗ;
- взаимодействие и информационный обмен с компетентным органом и официальным пунктом связи по Конвенции об оперативном оповещении, о ядерной аварии и Конвенции о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации – СКЦ «Росатом»;
- экспертные оценки по информационным донесениям (формы EMERCOM);
- прогноз радиационной обстановки и медико-санитарных последствий;
- рекомендации по оперативным и защитным мерам, по оказанию специализированной медицинской помощи.

В ноябре 2013 г. под эгидой МАГАТЭ в Марокко (г. Танжер-Меде) проводилось крупномасштабное международное учение по отработке действий в условиях радиологической аварийной ситуации в случае серьезного радиационного инцидента с криминальным эффектом (террористический акт) в целях проверки функционирования в полном объеме механизмов обмена информацией об аварийных ситуациях между государствами – участниками Конвенции об оперативном оповещении и Конвенции о помощи, а также соответствующими международными организациями и оказания взаимной помощи. В контексте проведения в 2014 г. в Сочи XXII Олимпийских зимних игр и XI Паралимпийских зимних игр актуально и своевременно было принять участие в международных учениях по теме радиологического терроризма и отработать информационный обмен между странами – участниками аварийного реагирования с учетом конфиденциальности, проверить механизмы реагирования РАНЕТ и национальных систем реагирования, организацию и оказание медицинской помощи (рис. 1).



Рис. 1.

В ходе учений был получен опыт международного реагирования и взаимодействия, в том числе по линии ВОЗ. Экспертные и функциональные группы АМРДЦ отработали процедуры оповещения и дали рекомендации по оказанию специализированной медицинской помощи (включая оказание помощи по запросу).

Межведомственные тренировки и учения

Обеспечение медицинского реагирования как важной части всего процесса аварийного реагирования невозможно без тесного межведомственного взаимодействия, которое оттачивается в ходе совместных тренировок и учений. АМРДЦ регулярно принимает участие в межведомственных учениях, в которых на практике прорабатываются механизмы взаимодействия. Только за последние несколько лет АМРДЦ стал участником крупных межведомственных учений по линии МЧС России (Десна-2010, Курская АЭС-2011, Калининская АЭС-2013), серии учений Арктика (-2009, -2010, -2011, -2012, -2014), организуемой ИБРАЭ РАН, комплексных противоаварийных учениях (КПУ) по линии концерна «Росэнергоатом» (устраиваемых с частотой примерно 1 раз в год). Ежегодно по плану концерна «Росэнергоатом» АМРДЦ участвует ориентировочно в 8–10 противоаварийных тренировках и учениях, проводимых на российских атомных станциях.

22 ноября 2013 г. вступило в действие Постановление правительства «О силах и средствах единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» от 8 ноября 2013 г. № 1007, в котором от ФМБА России в Перечень сил и средств постоянной готовности федерального уровня вошли РАМДЦ. Роль и место АМРДЦ в единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) практически определяется в ходе тренировочных мероприятий по взаимодействию в рамках комплексных противоаварийных учений (КПУ) по линии МЧС.

Основными направлениями деятельности АМРДЦ при межведомственном взаимодействии является работа в группе оказания помощи атомным станциям (ОПАС) и в качестве центра технической поддержки (ЦТП) концерна «Росэнергоатом».

В составе группы ОПАС концерна «Росэнергоатом» экспертами АМРДЦ осуществляется работа по следующим направлениям:

- выработка оперативных решений по медицинским, санитарно-гигиеническим, радиационно-дозиметрическим вопросам аварийного реагирования и готовности формирований территориальных медицинских служб;

- консультативная помощь по широкому спектру медико-биологических проблем, возникающих при ликвидации последствий радиационной аварии;
- информационно-аналитическое обеспечение по имеющимся силам и средствам медицинского аварийного реагирования, с учётом возможностей международной помощи.
- автономное обеспечение группы ОПАС неотложной врачебной помощью в случае выезда группы;
- выполнение превентивного медицинского наблюдения за членами группы ОПАС, использование специальной укладки врача группы ОПАС в случае обращения за экстренной медицинской помощью, выдача руководителю группы ОПАС рекомендаций по приему членами группы препаратов аптечки АП, по применению средств индивидуальной защиты, а также по организации санитарно-гигиенического режима работы группы.

АМРДЦ является центром технической поддержки концерна «Росэнергоатом». Эксперты АМРДЦ участвуют в выработке консолидированных оценок радиационной обстановки, возможных медико-санитарных последствий, масштабов радиационной аварии по шкале ИНЕС и рекомендаций по защитным мерам для персонала и населения. Группы технической поддержки обеспечены программными инструментами: автоматизированными информационно-справочными системами; базами данных нормативных документов в области радиационной безопасности; расчетными программами для прогноза распространения загрязнения; пакетами прикладных расчетных программ оценки доз внешнего и внутреннего облучения в различных условиях радиационных аварий. Все это требует единой научно-методической и программно-технической платформы с другими ведомствами, которая вырабатывается в ходе совместных тренировочных мероприятий.

К настоящему времени проработаны организационные и технические решения по оповещению и оперативному информационному обмену между АМРДЦ и Ситуационно-кризисным центром Госкорпорации «Росатом» (СКЦ ГК «Росатом»), кризисным центром концерна «Росэнергоатом» (КЦ «Росэнергоатом») и центрами технической поддержки в составе ведущих специализированных научных и проектных институтов.

Масштабное учение «Десна-2010» — совместное КПУ МЧС Российской Федерации и МЧС Белоруссии. В учении приняли участие около 40 организаций и более 1200 человек, около 60 единиц техники. За ходом учения наблюдали представители 23 организаций, в том числе 19 зарубежных. Одна из основных целей КПУ — отработка межгосударственного и межведомственного взаимодействия

между участниками аварийного реагирования: руководством Смоленской атомной электростанции (СмоАЭС), группой ОПАС и ЦТП, органами управления территориальной подсистемы РСЧС, силами и средствами МЧС России, нацеленными на СмоАЭС в случае радиационной аварии и МЧС Белоруссии. Большое внимание уделялось вопросам оповещения ведомственного и межведомственного (ОАО концерн «Росэнергоатом», Госкорпорации «Росатом», МЧС, Ростехнадзор, ФМБА России, РАН), а также, что является особенностью данного КПУ, межгосударственного (Российская Федерация, Белоруссия) уровней.

ФМБА России участвовало в учении «Десна-2010» силами АМРДЦ и региональных учреждений ФМБА России, обслуживающих Смоленскую АЭС.

С целью обеспечения готовности и организации эффективного взаимодействия АМРДЦ с КЦ и ЦТП концерна «Росэнергоатом», СКЦ ГК «Росатом», ФМБА России, медико-санитарной частью № 135 (МСЧ-135), Межрегиональным управлением № 135 (МРУ-135) и центром гигиены и эпидемиологии (ЦГиЭ-135) решались следующие задачи:

- отработать взаимодействие с КЦ концерна «Росэнергоатом», СКЦ Росатома, ЦТП (ИБРАЭ РАН, НПО «Тайфун», ВНИИАЭС) оперативно-диспетчерской службой и руководством ФМБА России, МСЧ-135, МРУ-135 и ЦГиЭ-135;
- отработать оповещение и сбор экспертов;
- отработать действия экспертной группы;
- выполнить прогноз возможных радиационных и медико-санитарных последствий с выработкой рекомендаций по защите персонала и населения;
- обеспечить экспертную и консультативную поддержку персоналу МСЧ-135, МРУ-135 и ЦГиЭ-135.

Эксперты АМРДЦ были направлены для усиления формирования и органов управления учреждений ФМБА России Смоленской области, включая их представительство в группе ОПАС концерна «Росэнергоатом». С территориальными медицинскими учреждениями проведены: отработка практических мероприятий по оказанию неотложной медицинской помощи пострадавшим при условной радиационной аварии на СмоАЭС, практические занятия с персоналом скорой помощи и здравпункта. С главой муниципального образования рассмотрены вопросы защиты населения, даны практические рекомендации по планированию и проведению йодной профилактики населения.

Отработаны практические мероприятия по взаимодействию бригад скорой помощи МСЧ и санитарной авиации (вертолет Центроспаса МЧС России) при оказании неотложной помощи и эвакуации тяжело пострадавших в профильные медицинские



Рис. 2.

учреждения для оказания специализированной медицинской помощи (рис. 2).

Осуществлялась поддержка ведомственной системы аварийного медицинского реагирования ФМБА России при радиационной аварии: совместно с МРУ-135 проводилась подготовка оперативных указаний для МСЧ-135 и ЦГиЭ-135, отрабатывались вопросы регулирования работы групп радиационного контроля и мониторинга, принадлежащих различным ведомствам (МЧС, Госкорпорации «Росатом» и др.) в зоне наблюдения СмоАЭС.

Совместно с руководителем МРУ-135 проведена работа в штабе комиссии по чрезвычайным ситуациям и противопожарной безопасности (КЧС и ПБ) учреждений ФМБА России в Смоленской области с целью координации деятельности органов управления и аварийных формирований подведомственных учреждений. Было привлечено формирование федерального уровня (комбустииологическая бригада ФМБЦ им. А.И. Бурназяна), проводились мероприятия по взаимодействию с медицинскими учреждениями Смоленской области (территориальный центр медицины катастроф, медучреждения района эвакуации).

В комплексных межведомственных учениях при почти неизбежном наличии пострадавших предусматривается привлечение к участию медицинских служб ФМБА России, ответственных за медицинское реагирование. Для того чтобы приблизить аварийное реагирование к реальной ситуации, разумно было сочетать тренировки по линии ФМБА России с учениями других ведомств, что бы эффективно отработать ведомственное и межведомственное взаимодействие.

Внутриведомственные тренировки и учения (по линии ФМБА России)

Практика организации тренировочных мероприятий последних лет — это совмещение мероприятий

по линии ФМБА России с мероприятиями других ведомств, что позволяет приблизить аварийное реагирование в ходе учений к реальной ситуации.

В ходе ведомственных тренировок по линии ФМБА России отрабатывается взаимодействие различных уровней системы реагирования агентства: федерального, территориального, объектового. В командно-штабном учении (КШУ) «Действия органов управления и формирований медицинской службы гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (МСГО и ЧС) учреждений ФМБА России расположенных на территории г. Сосновый бор по организации и выполнению мероприятий при радиационной аварии на ЛАЭС», в октябре 2013 г. было отработано взаимодействие всех трех уровней системы реагирования ФМБА России. Учение проходило в рамках КПУ на Ленинградской АЭС.

После объявления режима «повышенная готовность», между КЧС и ПБ, территориального отдела МРУ-122 и АМРДЦ была установлена оперативная связь. Оказана экспертно-аналитическая поддержка и даны рекомендации по обеспечению радиационной безопасности в процессе работ по оказанию медицинской помощи пострадавшим и по ограничению потребления продуктов питания и питьевой воды. Согласовывались рекомендации по защитным мерам для персонала и населения (эвакуация г. Сосновый Бор, радиационно-гигиеническое и медицинское сопровождение эвакуации населения).

Собственные тренировки и учения (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна)

Тренировки медицинского и научно-технического персонала ФМБЦ им. А.И. Бурназяна по отработке готовности к приему пострадавших проходят, как правило, ежегодно, с различными сценариями радиационных аварийных ситуаций и видами лучевых поражений пострадавших.

Основными темами учебных тренировок являются информационный обмен, аварийная готовность, работа с пострадавшими. Элементы аварийного реагирования: транспортировка, прибытие в клинику, санобработка, медицинская сортировка, организация и работа спецприемного отделения, работа группы радиационного контроля, медперсонала, оказание необходимой медицинской помощи, оказание неотложной и специализированной медицинской помощи составляют предмет учебных мероприятий (рис. 3).

В ходе учений проходит контроль системы оповещения, взаимодействия основных подразделений аварийного реагирования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, моделируется работа и проверяется алгоритм действий отдельных групп. Результаты собственных тренировок ФМБЦ им. А.И. Бурназяна



Рис. 3.

легли в основу документа «Регламент действий подразделений ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в случае радиационной аварии».

Организуются тренировки по укреплению горизонтальных связей с обслуживаемыми предприятиями зоны ответственности АМРДЦ при оказании медицинской помощи персоналу в случае чрезвычайных ситуаций радиационного характера на радиационно-опасном предприятии. В этом случае, наряду с проверкой готовности клиники ФМБЦ им. А.И. Бурназяна к приему пострадавших и готовности АМРДЦ и других структурных подразделений к экспертному и материальному обеспечению приема пострадавших, отрабатывается порядок оповещения и взаимодействия между учреждениями ФМБА России и предприятием в случае радиационной аварии или инцидента.

Регулярно в соответствии с планом проводятся тренировки экспертов, функциональных, рабочих групп и СРБ (рис. 4).



Рис. 4.

Следует отметить, что потребность в экспертной поддержке возрастает, это требует соответствующей квалификации экспертов и поддержания в готовности экспериментальной и медицинской базы ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Тренировки и учения в рамках российско-норвежского сотрудничества (по проектам НРПА)

Плодотворно развивается сотрудничество АМРДЦ с Государственным управлением по радиационной безопасности Норвегии (НРПА) в области аварийного планирования и готовности, которое началось в 2005 г. Реализуемые проекты позволяют последовательно совершенствовать методологию и практические механизмы аварийного медицинского реагирования на северо-западе России.

В 2005–2007 гг. совместно со специалистами NRPA выполнены два проекта: «Совершенствование медицинских и радиологических аспектов аварийной готовности и реагирования на объектах СевРАО» и «Разработка операционных радиологических и медицинских критериев для создания плана быстрого реагирования и раннего использования защитных мероприятий на предприятиях СевРАО», которые были направлены на формирование критериев оперативного реагирования. Для того чтобы внедрить в практику регулирующие требования и рекомендации, выработанные в рамках совместной работы, в 2006 г. была проведена противоаварийная тренировка на ПВХ в Губе Андреева. Основное внимание было уделено медицинским задачам реагирования — оказанию неотложной помощи пострадавшим. Учение выявило необходимость разработать операционные радиационные и медицинские критерии инициации аварийных планов объектов СевРАО, т.е. своевременного начала медицинских и радиологических защитных действий и выполнения их наиболее адекватными способами (рис. 5).



Рис. 5.

Другие тренировки и учения

Логичным представлялось продолжить работу по совершенствованию аварийного реагирования путем подготовки и проведения аварийного учения, направленного на отработку задач радиологической защиты персонала и населения филиала ФГУП СевРАО «Островной». В этом смысле предприятие представляло интересный и сложный объект для такой тренировки в силу географических особенностей его расположения относительно населенного пункта и территориальных учреждений ФМБА России.

В 2008–2009 гг. был выполнен проект «Подготовка и проведение противоаварийной тренировки по радиологической защите персонала ФГУП «СевРАО» филиала «Островной» и населения пос. Гремиха». Была организована и проведена масштабная тренировка с участием более 100 человек из 17 организаций различных министерств и ведомств. На разных уровнях были задействованы формирования и учреждения, представляющие органы исполнительной власти Мурманской области, Госкорпорацию «Росатом», ФМБА России, МЧС, а также ряд экспертных центров Госгидромета и РАН.

В ходе тренировки при организационной и технической поддержке СКЦ «Росатома» была проведена многоточечная видеоконференция с целью отработки процедуры принятия решений и экспертно-аналитической поддержки по проведению неотложных защитных и медико-санитарных мероприятий. Консолидированные рекомендации экспертных групп явились основой для проведения практических действий и отработки тренировочных заданий на филиале ФГУП «СевРАО» «Островной» и поселке Гремиха (рис. 6).



Рис. 6.

В ходе данного этапа тренировки были осуществлены мероприятия по введению и реализации плана мероприятий по защите персонала, обеспечены условия соблюдения требований по радиационной безопасности в процессе проведения аварийно-восстановительных работ, решены вопросы оказания неотложной медицинской помощи пострадавшим и их транспортировки в филиал № 4 ЦМСЧ-120 (п. Гремиха). На основе результатов радиационной разведки и прогноза дозовых нагрузок была осуществлена временная эвакуация плановых больных и персонала филиала № 4 ЦМСЧ-120 в Военно-морской госпиталь в ЗАТО «Островной». Были обеспечены необходимые требования по организации радиометрического контроля, санитарно-пропускного режима и развертыванию дополнительных мест для больных. При активном участии администрации и служб ГО поселка Гремиха и РУ-120 были решены вопросы по информированию населения, соблюдению условий санитарно-гигиенического режима, защите источников питьевого водоснабжения, организации дезактивации условно загрязненного участка дороги и транспортных средств.

Подготовка и ход проведения тренировки подробно освещались телевидением Мурманска (ВГТРК «Мурман» и местным телевидением поселка Гремиха). Результаты опроса, проведенного среди жителей поселка Гремиха, свидетельствуют о понимании необходимости проведенных мероприятий и способствуют уверенности населения в компетентности администрации и специалистов, их способности осуществить необходимые защитные и медицинские мероприятия, направленные на обеспечение здоровья населения в случае радиационной аварии.

Результаты проведенной тренировки продемонстрировали, что необходимые процедуры радиационно-гигиенических и медицинских мероприятий для персонала и населения на ранней фазе радиационной аварии могут быть обеспечены силами ЦМСЧ-120, РУ-120 и ЦГиЭ-120 ФМБА России во взаимодействии с ФГУП «СевРАО», органами управления ЗАТО «Островной» и госпиталем военно-морского флота министерства обороны (ВМФ МО) в ЗАТО «Островной». Помимо этого, сложные климатические условия Заполярья, удаленность, трудность доставки и развертывания требуют отработки взаимодействия с медицинскими учреждениями Мурманской области. Опыт проведения данной тренировки продемонстрировал важную роль экспертной поддержки путем использования современных (главным образом, спутниковых) систем связи, что требует соответствующих решений в отношении медицинских учреждений и формирований ФМБА России в этом и других регионах страны.

Одновременно в целях развития методической базы обеспечения аварийного реагирования были подготовлены рекомендации по организации и проведению тренировок для объектов ФГУП «СевРАО».

По результатам тренировки было проведено совещание по оценке действий рабочих и экспертных групп учреждений ФМБА России. Было отмечено, что для выработки согласованных решений экспертным группам необходимо гармонизировать подходы к оценке ситуаций и при подготовке рекомендаций по защитным мерам.

В то же время в ходе выполнения проектов был сделан вывод о необходимости проведения на регулярной основе тренировок и учений для закрепления практических навыков проведения спасательных и неотложных аварийных работ. Эти послужило основой при формулировании плана работ на 2010–2011 гг.

Актуальные темы тренировок в северо-западном регионе касались отработки вопросов регулирования радиационной безопасности при вывозе с предприятий и при последующей транспортировке радиоактивных материалов, причем с существующими рисками транспортных аварий и возможными радиационными последствиями.

Цель проекта «Гармонизация подходов экспертных и рабочих групп в оценке ситуации и выработке рекомендаций по медицинским и защитным мерам в случае радиационного события при транспортировании радиоактивных веществ» — провести серию практических мероприятий для рабочих и экспертных групп регуляторов с целью выявления и решения в ходе обсуждений проблемных вопросов в организации и медико-санитарном обеспечении аварийного реагирования.

В ходе проводимых практических мероприятий (2010–2011 гг.) по реагированию в случае аварии при транспортировании радиоактивных веществ были отработаны вопросы организации аварийного реагирования, процедур реагирования регуляторов, дистанционной работы экспертных групп, формирования консолидированных оценок последствий аварийных ситуаций. Были проведены:

1. Учебно-тренировочное занятие с персоналом аварийной (выездной) бригады Аварийно-технического центра (АТЦ СПб) Минатома России. Наиболее актуальными явились вопросы организации аварийно-технических и спасательных работ при неблагоприятной радиационной обстановке. Подробно обсуждались вопросы принятия решений руководителем бригад по организации взаимодействия с регулирующими органами и медицинскими учреждениями ФМБА России.
2. Дистанционное занятие экспертных групп АМРДЦ ФМБА России и АТЦ СПб «Росатома». Отработки

валось взаимодействие между этими экспертными группами. Решались задачи экспресс-оценки возможности ингаляционного поступления при условной аварии с разгерметизацией источника на основе Мо-99. В результате достигнута приемлемая сходимость результатов.

3. Учебно-тренировочное занятие с медицинским персоналом клинической больницы № 122 им. А.И. Соколова ФМБА России. Отработана процедура аварийного оповещения персонала больницы посредством локальной системы информирования. Проведено теоретическое занятие с медицинским персоналом, посвященное актуальным вопросам подготовки аварийного формирования к оказанию помощи пострадавшим. Состоялось практическое занятие по отработке навыков проведения деконтаминации пострадавших. Экспертными группами НИИПММ и АМРДЦ ФМБА России решались вопросы определения тактики деконтаминации пострадавших при загрязнении тела и поступлении радиоактивных веществ внутрь организма.
4. Тематическое занятие с экспертными группами МРУ-122 и ЦГиЭ-122 по обсуждению актуальных вопросов планирования медико-санитарного обеспечения и безопасности аварийно-спасательных формирований при ликвидации последствий аварий при транспортировании радиоактивных веществ. Сформулированы проблемные вопросы для обсуждения на планируемом семинаре в Сочи.
5. Исполнители проекта приняли участие в качестве наблюдателей в болгаро-румынских учениях «Наутилус-2011», посвященное отработке действий специальных антитеррористических команд, радиологических бригад, функциональных и рабочих групп реагирующих учреждений и организаций в случае радиационной аварии при транспортировании отработанного ядерного топлива с АЭС «Козлодуй».
6. Обучающий семинар и противоаварийная тренировка на базе филиала НОУ ДПО «ЦИПК», г. Санкт-Петербург, по вопросам обеспечения радиационной безопасности при осуществлении вывода из эксплуатации РИТЭГ, организованные Ростехнадзором при поддержке НРПА. По инициативе НРПА в семинаре приняли участие представители ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. Состоялись активное обсуждение и обмен мнениями по вопросам взаимодействия регулирующих органов.
7. Обучающий семинар в северо-западном региональном аварийном медико-дозиметрическом центре (СЗРАМДЦ) по вопросам аварийного реагирования и тренировка персонала аварийного центра. Рассматривались вопросы деятельности экспертных и экспертно-аналитических групп

регулирующих органов. В рамках мероприятия прошло практическое занятие по оповещению и сбору выездной бригады СЗАМРДЦ.

Вышеперечисленные учебно-практические мероприятия выявили проблемные вопросы по организации взаимодействия и реагирования как на местном уровне в системе ФМБА России, так и с внешними ответственными ведомствами (ГК «Росатом» и др.), которые требовали обсуждения в широком кругу специалистов ФМБА северо-западного региона России:

- оповещение и передача донесений (правильное заполнение донесений);
- отработка действий регуляторов (оценка радиационной обстановки, выработка решений и организация работы территориальной комиссии по ЧС и ПБ ФМБА России);
- обеспечение безопасной работы персонала бригады скорой медицинской помощи и доставка пострадавшего в медицинское учреждение (применение СИЗ);
- организация санитарно-пропускного режима, входного и выходного дозиметрического (радиометрического) контроля в медучреждении с привлечением ЦГиЭ;
- отработка начальных действий по проведению диагностических и медицинских мероприятий;
- отработка взаимодействия с АТЦ СПб (определение места аварийно-спасательных формирований ФМБА России при локализации последствий аварии при транспортировании);
- роль и место региональных аварийных центров в аварийном реагировании (координация действий).

Предметное обсуждение выявленных аспектов регулирования радиационной безопасности и медицинского аварийного реагирования в случае аварий при транспортировании радиоактивных веществ предстояло обсудить на семинаре в Сочи, 20–21 сентября 2011 г.

В ходе семинара в Сочи была представлена практика работы регулирующих органов и подразделений ФМБА России в различных режимах (нормальная практика, повышенная готовность и аварийная ситуация), а так же практика работы регулирующих органов Норвегии в обеспечении радиационной безопасности персонала и населения. Обмен мнениями и открытое обсуждение актуальных вопросов аварийного реагирования и взаимодействия при ликвидации последствий аварий в случае транспортирования радиоактивных материалов специалистами различных ведомств во время семинара оказались эффективной формой определения приоритетов противоаварийного планирования, готовности и взаимодействия.

Поддержание постоянной готовности РАМДЦ ФМБА России, СКЦ ГК «Росатом», АТЦ Минатома

России позволяет эффективно реагировать на радиационные аварии в зоне ответственности с соблюдением требований регуляторов в области радиационной безопасности (ФМБА России, Роспотребнадзор, Ростехнадзор).

Учебно-тренировочные мероприятия с участием АМРДЦ им. А.И. Бурназяна и медицинских учреждений северо-западного региона позволили обобщить и проанализировать полученные результаты и наметить пути совершенствования противоаварийной готовности медицинских учреждений ФМБА на северо-западе РФ с учетом международных рекомендаций.

С целью систематизации накопленного опыта в АМРДЦ разработана специализированная база документов по участию АМРДЦ в противоаварийных мероприятиях (БДД ПМ). При проведении отдельного мероприятия с участием АМРДЦ (учения, тренировки, реальные ситуации) создаётся, принимается и отправляется всеми участниками реагирования от нескольких единиц до нескольких десятков документов. В базе содержится более 3500 файлов документов. Документы относятся к 29 радиационно опасным объектам, в том числе и 10 атомным станциям ОАО Концерна «Росэнергоатом», 8 предприятиям Госкорпорации «Росатом» и 11 предприятиям и объектам других ведомств. Подготовлена информация по 175 мероприятиям с 2004 до 2012 гг. База данных позволяет:

- осуществлять по запросам пользователей выборку документов по заранее определенным признакам;
- руководителям, специалистам и экспертам АМРДЦ оперативно использовать в текущей работе всю совокупность сконцентрированных в БДД ПМ сведений;
- упростить и ускорить подготовку и формирование в АМРДЦ отчетов, аналитических справок, рекомендаций и других документов, касающихся вопросов аварийного реагирования.

Изучение смысловой части документов, таких как запросы, справки, рекомендации, отчеты выявило проблемные вопросы аварийного реагирования, которые вызвали затруднения и потребовали экспертно-аналитической поддержки АМРДЦ. И напротив, донесения о принятых мерах и решениях говорили о степени готовности территориальных учреждений ФМБА России к проведению необходимого объема медико-санитарных мероприятий в зоне их ответственности.

Выработанные специалистами решения по целому ряду экспертных задач, которые ставятся в ходе учений и тренировок, представляют банк экспертных знаний и опыта практической деятельности АМРДЦ, которые систематизированы в БДД ПМ и могут быть доступны экспертам в случае необходимости.

Заключение

После событий на японской АЭС Фукусима-1 в мировой и отечественной практике происходит переоценка безопасности атомных станций, тренировки и учения организуются и проводятся с учетом случившейся в Японии радиационной аварии. Процесс обеспечения аварийной готовности направлен на то, чтобы учесть печальные уроки и снизить риски возможных радиационных аварий.

Накопленный опыт участия АМРДЦ в учебно-тренировочных мероприятиях показывает, что учения и тренировки позволяют отработать элементы взаимодействия и аварийного реагирования на радиационные аварии и инциденты, выявить слабые стороны процесса реагирования и обозначить направления дальнейшего совершенствования методологии аварийного реагирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards 7 Series No. SF-1, IAEA, Vienna, 2006.
2. IAEA, 2004. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Requirements, Safety Standards Series No. GS-R-2. IAEA, Vienna, 2004.
3. IAEA, 2003. Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency. EPR-METHOD, IAEA, Vienna, 2003.
4. IAEA, 2005. Generic Procedures for Medical Response during Nuclear and Radiological Emergency. EPR-MEDICAL, IAEA, Vienna, 2005.
5. НРБ Нормы радиационной безопасности (НРБ—99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Роспотребнадзор, 2009.
6. ОСПОРБ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) СП 2.6.1.2612-10. Роспотребнадзор, 2010.
7. IAEA, EPR-RANET (2013) response and assistant network, IAEA, Vienna, 2013

Поступила 14.01.2014

Принята к публикации: 11.02.2014



Богданова Людмила Серафимовна, в 1976 г. окончила Московский Авиационный институт им. С.Орджоникидзе, по специальности инженер-механик, в настоящее время работает старшим научным сотрудником ФГБУ ГНЦ РФ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

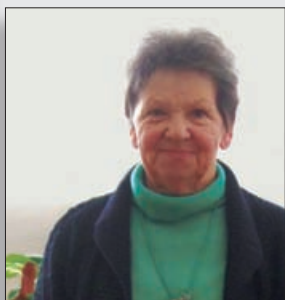
С 1981 по 1991 гг. работала научным сотрудником ИБФ Минздрава РФ. Специализировалась по вопросам оценок дозовых нагрузок на население, как при нормальной эксплуатации, так и при аварийных ситуациях на АЭС. Фрагмент работы по нормированию жидких сбросов атомных станций был отмечен медалью ВДНХ. Имелись внедрения на атомных станциях страны и болгарской АС «Козлодуй».

В 1986 г. при ликвидации последствий аварии участвовала в проведении оперативных расчетов по оценке медицинских последствий на население.

С 1991 г. – старший научный сотрудник и руководитель группы спектрометрии излучения человека, профессионально занималась вопросами внутреннего облучения человека. При ее непосредственном участии проводились радиационные обследования Москвы, муниципальных округов Щукино, Митино и обследования контингента риска в Липецкой области и лиц, подвергшихся случайному радиоактивному облучению (Электросталь, Братск, Одинцово).

С 2002 г. по н/вр – старший научный сотрудник ФГБУ ГНЦ РФ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. Является разработчиком нормативно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности при противоаварийном планировании и аварийном реагировании в случае радиационной аварии и по сопровождению деятельности Аварийного медицинского радиационно-дозиметрического центра (АМРДЦ) ФМБА России. Участвует в проведении учений и тренировок в составе информационно-аналитической группы по линии концерна «Росэнергоатом», ГК «Росатом», ФМБА России, других российских ведомств, а также международных по линии МАГАТЭ и ВОЗ.

С 2013 г. является членом Рабочей группы по вопросам ядерных чрезвычайных ситуаций (WPNEM) Европейского агентства по атомной энергии (АЯЭ). Богданова Л.С. является автором и соавтором более 70 работ. Награждена почетной грамотой Минздрава РФ, «Ветеран труда» и почетным знаком «Ветеран атомной энергетики и промышленности».



Клименко Евгения Ивановна, в 1970 г. окончила Московский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева по специальности радиационная и радиохимия.

В Институте биофизики работает с 1970 г. сначала в должности инженера, затем младшего научного сотрудника, а с 1991 г. – старшего научного сотрудника.

За время работы в Институте биофизики Клименко Е.И. занималась вопросами изучения особенностей миграции радиоактивных изотопов в объектах внешней среды, проведением экспериментальных фантомных исследований на загрязненных территориях, включая дозиметрическое и спектрометрическое сопровождение при проведении испытаний на Семипалатинском полигоне и в зоне ЧАЭС. Принимала участие в разработке методических и организационных документов.

Проявила себя грамотным и инициативным специалистом; она способна правильно решать стоящие перед ней научные задачи, является соавтором более 50 научных работ.

Являясь в течение пятнадцати лет бессменным ученым секретарем лаборатории, а затем отделов № 3, 5 и 9, занимается научно-организационной работой, связанной с разработкой, текущим выполнением и реализацией ряда Федеральных целевых программ: «Обоснование», «Регламент-1», «Техногенное облучение».

В настоящее время является ученым секретарем программ «Ядерная и радиационная безопасность России», УВБТ и комплексных межотраслевых исследований.

Е.И. Клименко имеет ряд поощрений от руководства Института и ФМБА, за участие в работах на Семипалатинском испытательном полигоне награждена медалью «За трудовую доблесть», участник ЛПА на ЧАЭС, ветеран отрасли.

И.А. Галстян, Н.М. Надежина, Н.М. Борисов**ЛУЧЕВЫЕ ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ****I.A. Galstyan, N.M. Nadejina, N.M. Borisov****Radiation Injuries at Endovascular Surgery**

РЕФЕРАТ

Широкое внедрение интервенционной радиологии (осуществление малоинвазивных хирургических манипуляций под контролем в режиме реального времени по рентгеновскому изображению операционного поля) в медицинскую практику в последние десятилетия привело к появлению в англоязычной литературе описаний местных лучевых поражений, развившихся в облучаемом участке тела пациента при проведении процедур эндоваскулярной хирургии (стентирование, ангиопластика, шунтирование). В русскоязычной литературе подобных клинических наблюдений найдено не было. Статья посвящена представлению собственного опыта наблюдения за двумя больными с последствиями острых местных лучевых поражений, развившихся при проведении эндоваскулярных процедур.

Ключевые слова: интервенционная радиология, эндоваскулярная хирургия, рентгеновское облучение, местные лучевые поражения, поздние лучевые язвы

ABSTRACT

Widespread introduction of intervention radiology (X-ray control in real time the image of an operational field which is constantly irradiated during operation) in medical practice in the last decades led to emergence in English literature of descriptions of the local radiation injuries which have developed in areas of a projection of a X-ray beam owing to carrying out procedures of endovascular surgery. In Russian literature of similar clinical supervision it wasn't found. Article is devoted to representation of own experience of supervision over two patients with consequences of the acute local radiation injuries which have developed at carrying out endovascular procedures.

Key words: intervention radiology, endovascular surgery, radiation complications, x-ray radiation, local radiation injuries, late radiation ulcers

Введение

Сущность интервенционной радиологии заключается в осуществлении манипуляций хирурга под контролем по динамическому (в режиме реального времени) рентгеновскому изображению операционного поля [1–17]. Наибольшее распространение методы интервенционной радиологии получили в кардиоваскулярной хирургии, в частности в эндоваскулярной хирургии коронарных сосудов (ангиопластика, стентирование) [1, 3]. В связи с внедрением этих методов в последние десятилетия в литературе накапливаются сведения об осложняющих их проведение острых и хронических местных лучевых поражениях (МЛП) [1–17]. К сожалению, многие врачи, включая хирургов и дерматологов, не подозревают о возможности развития подобных повреждений тканей, и больным приходится проделывать долгий путь до установления правильного диагноза и проведения адекватного лечения МЛП [18].

Первая информация о возможности развития МЛП вследствие рентгеновского воздействия во время проведения эндоваскулярных процедур появилась в 1992–1993 гг. [3, 19, 20]. Известно, что в период с 1996 по 1999 г. в англоязычной литературе

имелось, по крайней мере, 20 описаний лучевого дерматита, развившегося после проведения коронарной ангиопластики [21]. Одним из первых документов, обобщающим сведения о возможных осложнениях и содержащим предостережение врачам, было издание “FDA. Важная информация для врачей и других работников здравоохранения: запись информации в медицинской документации, для диагностики серьезных, вызванных облучением, повреждений кожи вследствие проведения процедуры под рентгеновским лучом” [20].

В отечественной литературе нам не встретилось публикаций, описывающих лучевые осложнения эндоваскулярной хирургии.

Появление признаков лучевого дерматита описано при различных эндоваскулярных вмешательствах: радиочастотной катетерной абляции (наиболее часто по данным T.B. Shore [20]), ренальной ангиопластики, интервенционных нейрорадиологических и гепатобилиарных процедурах [21]. E.R. Ketteler и соавт. [22] приводят данные о том, что среди всех эндоваскулярных вмешательств максимальная доза на кожу отмечается при периферической катетерной атерэктомии и ангиопластике.

В связи с тем, что тяжесть клинических проявлений при радиационном поражении кожи и нижележащих органов и тканей зависит от площади облученной поверхности тела, для количественной оценки радиационного воздействия на поверхность тела больного используется расчетная величина — произведение средней дозы на площадь облученной поверхности ($\text{мГр} \times \text{см}^2$) [23]. Среди других величин, характеризующих фактор радиационного поражения, применяются суммарная доза (мГр) [3, 22–25], воздушная керма, измеряемая на расстоянии 15 см от изоцентра фокусного направления (мГр) [23, 24], пиковая мощность дозы, т.е. наивысшая мощность дозы на коже больного во время процедуры (мГр) [24]. Различные авторы в своих работах используют разные характеристики величины радиационного воздействия [14, 22].

Рентгеновское оборудование, используемое при проведении различных интервенционных процедур, может обеспечивать мощность дозы радиационного воздействия на кожу от 20 до 200 мГр/мин [3].

По данным N. Majewska и соавт. [23] общая доза в облучаемой области при установлении стентов в коронарные артерии составляет в среднем 361 мГр , керма при этом виде эндоваскулярных вмешательств оценивается в среднем как 797 мГр . Обычно максимальная суммарная доза при эндоваскулярном лечении аневризм колеблется, по данным различных авторов, от 330 до 870 мГр [22, 26], однако при эндоваскулярном лечении периферических аневризм нижних конечностей суммарная доза удваивается и может достигать 1,5 Гр [22]. Для отдельных больных (около 3 % от общего количества вмешательств) кумулятивная керма в воздухе может находиться в пределах от 1 до 2 Гр , в некоторых случаях — превышать 3 Гр [23, 24], что создает условия для развития МЛП. В литературе имеются 3 клинических наблюдения, в которых у больных при проведении эмболизации интракраниальной артериовенозной мальформации по данным термолюминесцентных дозиметров максимальная доза на кожу во время выполнения процедуры достигала 4–5 Гр [25]. Mettler F.A. Jr и соавт. [12] на основании клинических данных предполагают, что в крайне редких случаях доза радиационного воздействия на кожу может превышать 60 Гр .

K. Chida и соавт. [1] указывают, что при использовании обычного рентгеновского оборудования при проведении интервенционных кардиологических процедур мониторинг в реальном времени пиковой мощности дозы на кожу невозможен. При этом взаимосвязь времени воздействия и пиковой мощности дозы для различных вмешательств неодинакова. Для радиочастотной катетерной абляции выявлена хорошая корреляция между этими двумя параметрами, в

то время как при проведении чрескожных коронарных интервенционных процедур корреляция между выше-названными параметрами не выявлена, но существует значительная корреляция между максимальной дозой на кожу и массой тела больного [1]. Вмешательства на ренальных сосудах, висцеральная баллонная ангиопластика и стентирование, процедуры по эмболизации сосудов обуславливают максимальную пиковую мощность дозы [24]. Значительное увеличение риска развития лучевых осложнений отмечается при индексе массы тела больного в пределах от 25 до 29,9 кг/м^2 , максимальное — свыше 30 кг/м^2 [23].

По данным J.Valentin [8], острое лучевое воздействие в дозе 2 Гр может вызвать преходящую эритему кожи, в более поздние сроки при облучении области головы — развитие лучевой катаракты, 7 Гр — постоянную эпиляцию, 12 Гр — отсроченный некроз кожи.

При развитии острых МЛП на облучаемом участке тела (доза облучения свыше 10 Гр) отмечается появление эритемы, отека, пузырей, позднее — некрозов и язв (рис. 1) [3]. Латентный период для МЛП при остром воздействии ограничивается периодом от нескольких дней до двух месяцев в зависимости от величины суммарной дозы [3].

Явления хронического дерматита, проявляющегося атрофией кожи, индурацией подлежащих тканей, изменениями пигментации, появлением телеангиоэктазий, гиперкератоза и поздних лучевых язв, развитием чешуйчатоклеточной карциномы, могут наблюдаться при повторных процедурах у одного больного [3, 6, 12–15, 27–30].

Длительность периода проявления клинических признаков лучевых повреждений кожи в зависимости от суммарной дозы и количества проведенных эндо-



Рис. 1. МЛП 18 месяцев спустя после повторных процедур стентирования коронарных артерий (представлено в докладе Fred A. Mettler Jr. "Advances in medical imaging using radiation: Are we safer now?" на заседании Российской академии медицинских наук в 2006 г.)

васкулярных процедур (хроническое воздействие) может колебаться от 15 дней до 10 лет после вмешательства [6]. Возможно, именно поэтому эти больные часто оказываются вне зоны внимания врачей, проводивших рентгеновское облучение, и не всегда устанавливается причинно-следственная связь между МЛП и проводившимся ранее рентгенохирургическим вмешательством.

Локализация МЛП зависит от вида вмешательства и направления распространения пучка рентгеновского излучения [19]. При проведении коронарной ангиопластики наиболее характерными локализациями МЛП являются подмышечная и подлопаточная области [31].

Наиболее частыми причинами развития острых поражений являются использование неисправного оборудования, превышение регламентированной длительности процедуры вследствие технических сложностей или недостаточности оперативной техники (более 120 мин), а также высота стола и крупная комплекция больного, приводящие к приближению поверхности тела к рентгеновской трубке, когда суммарная доза может достигать величин, пороговых для развития лучевых поражений [1, 6, 22, 32] (рис. 2).

Предполагается, что сокращение продолжительности облучения за счет совершенствования врачебной техники, использования не постоянной, а импульсной рентгеноскопии, оптимального диафрагмирования пучка, дополнительных защитных фильтров и изменения локализации фокуса рентгеновского пучка могут значительно уменьшить частоту этих осложнений [6, 18, 33]. Реальное уменьшение суммарной дозы на 72–45 % возможно при применении импульсной рентгеноскопии, при которой

используется частота 7,5–15 изображений в секунду [22].

Цель настоящего сообщения – представить собственный опыт наблюдения за больными с последствиями острых МЛП, развившимися при проведении эндоваскулярных процедур.

Клиническое наблюдение № 1

Больной Р., 1953 г. рождения, по специальности – инкассатор. В 2003 г. у него была зарегистрирована артериальная гипертония с максимальным уровнем артериального давления 190/90 мм рт. ст. Субъективно подъёмы артериального давления не ощущал, рекомендованное консервативное лечение не проводил. С 2004 г. появились боли за грудиной при физической нагрузке. В декабре 2004 г. был госпитализирован по поводу нестабильной стенокардии. В связи с недостаточной эффективностью назначенной консервативной терапии в мае 2005 г. проведено стационарное обследование, включая коронарографическое исследование. На основании полученных данных нельзя было исключить перенесенный инфаркт миокарда. Рекомендовано проведение в плановом порядке аортокоронарного шунтирования, от которого больной отказался. В мае 2005 г. в связи с ухудшением самочувствия, недостаточной эффективностью проводимой терапии повторно проведена селективная коронарная ангиография. Выявлена окклюзия передней межжелудочковой ветви левой коронарной артерии в средней трети. В правой коронарной артерии выявлены стенозы до 80–90 % в дистальной трети. Рекомендовано проведение транслюминальной баллонной ангиопластики и стентирования. 16 июня 2005 г. была предпринята попытка реканализации



Рис. 2. Лучевая язва на спине больной, весящей 166 кг и перенесшей за 9 месяцев до выявления язвы коронарную ангиопластику и стентирование [3]



Рис. 3. Поздние лучевые язвы в левой подмышечной области больного Р.

передней межжелудочковой ветви левой коронарной артерии, которая оказалась неэффективной. Процедура согласно медицинским документам прошла без осложнений. Со слов больного, она длилась в течение 4,5 часов. На второй день больной был выписан из стационара с рекомендацией оперативного лечения ишемической болезни сердца — аортокоронарного шунтирования.

Через 7 дней на спине больного между лопаточной и средней подмышечной линиями появились 2 округлые зоны синюшно-бурого цвета. Больной обратился к врачу, проводившему попытку ангиопластики и стентирования, который заверил его, что появившиеся симптомы не могут быть связаны с проведенным эндоваскулярным вмешательством. Через 1 мес в этой зоне вскрылись 2 плоских пузыря. В дальнейшем постепенно образовались глубокие изъязвления (рис. 3). Больной последовательно обращался в различные лечебно-профилактические учреждения, характер кожных изменений оставался неясным. В июне 2006 г. во время консультации в МРНЦ РАМН было сделано заключение о лучевом генезе язв. Рекомендовано оперативное лечение.

Больной был госпитализирован в отделение гнойной хирургии с диагнозом: поздние лучевые язвы левой подлопаточной области; ИБС: постинфарктный кардиосклероз, стенокардия напряжения, ФК II—III класс; множественные стенозирующие поражения коронарных артерий; артериальная гипертензия; хронический эрозивный гастрит.

После проведенного обследования было запланировано проведение одномоментного иссечения язв единым блоком с пластикой раны перемещенным кожно-фасциальным поясничным лоскутом. Однако с учетом данных о низком резерве коронарного кровотока было решено ограничиться некрэктомией. 27 апреля 2006 г. во время подготовки к операции при интубации пациента возникли гипотония и признаки нарастающей ишемии миокарда. От хирургического вмешательства было решено воздержаться. С рекомендациями по консервативному лечению поздних лучевых язв больной был выписан из стационара.

В июле 2006 г. пациент обратился в клинику ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (тогда ИБФ) для консервативного лечения выявленных поздних лучевых язв. В связи с невозможностью проведения оперативного лечения проводилось местная терапия антибактериальными и ферментными препаратами, внутривенным введением пентоксифиллина и актовегина без эффекта. Несмотря на постоянный прием коронарорасширяющих препаратов, 7 августа 2006 г. у больного развился повторный острый инфаркт миокарда. В связи с необходимостью хирургического лечения ИБС для проведения последующей пластической операции

ввиду полной бесперспективности консервативной терапии язвенных дефектов, больной был выписан из клиники ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. В настоящее время он потерян для наблюдения.

Клиническое наблюдение № 2

Больной Н., 61 год, поступил для лечения по поводу последствий острого МЛП тканей спины в проекции III—IV грудных позвонков тяжелой степени (лучевой фиброз, поздняя лучевая язва). Из анамнеза известно, что в течение 30 лет беспокоят боли в области сердца при незначительных нагрузках и в покое. В январе 1996 г. перенес аортокоронарное шунтирование в связи со стенокардией третьего функционального класса. В августе 2000 г. перенес острый инфаркт миокарда. В июне 2006 г. проведена ангиопластика со стентированием коронарных артерий. Длительность процедуры, проводимой в условиях рентгеновского контроля, составила 3,5 часа. Через 2 дня после ангиопластики у больного появился зуд и отек кожи в межлопаточной области. Через 9 месяцев в этой области образовалась язва, генез которой при последовательном обращении в различные лечебно-профилактические учреждения уточнен не был.

Диагноз поздней лучевой язвы был заподозрен во Всероссийском Центре экстренной и радиационной медицины МЧС РФ (г. Санкт-Петербург). Консервативное лечение и аутодермопластика свободным лоскутом были неэффективны.

При поступлении в клинику ФМБЦ им. А.И. Бурназяна у больного в проекции III—IV грудных позвонков имела лучевая язва размерами 5 × 6,5 × 2,5 см с подрытыми краями. Дно раны было покрыто плотным слоем фибрина, умеренно болезненно. Дно раны находилось на расстоянии 0,5 см от остистых отростков грудных позвонков. Язва расположена в зоне выраженного фиброза окружающих тканей (диаметр — около 20 см). Кожа в этой зоне была плотно спаяна с подлежащими тканями, не собиралась в складку, гиперпигментирована. Интенсивность гиперпигментации уменьшалась к периферии. В ране — скудное отделяемое (рис. 4). В посевах из раны — синегнойная палочка. При компьютерной томографии выявлен умеренный остеопороз III—IV грудных позвонков.

Учитывая клинические проявления МЛП и анализ ситуации технического проведения ангиопластики, предположили, что локальная доза воздействия могла достигать 25—30 Гр.

Обсуждалась возможность проведения аутопластики полнослойным лоскутом на сосудистой ножке при микрохирургической операции. Однако учитывая отягощенный соматический статус больного, риск анестезиологического пособия для выполнения длительной микрохирургической операции был



Рис. 4. Поздняя лучевая язва спины до лечения

признан чрезмерно высоким. Методом выбора было признано закрытие язвенного дефекта при помощи пересадки культуры аутологичных мезенхимальных стволовых клеток [34].

После проведения процедуры в язве резко увеличилось количество грануляций, активизировалась краевая эпителизация, постепенно уменьшалась ее глубина. Учитывая значительное улучшение состояния язвенного дефекта, для ускорения заживления больному проведена аутодермопластика марочным методом с ярким положительным эффектом и полной эпителизацией раневой поверхности (рис. 5). При наблюдении более 4 лет поздняя лучевая язва не рецидивирует.

Обсуждение

Особенностью описанных клинических наблюдений является невозможность проведения адекватного хирургического лечения существующей ишемической болезни сердца. Попытки восстановления коронарного кровотока были сопряжены с техническими сложностями, которые привели к значительному удлинению времени пребывания пациентов под пучком рентгеновского излучения, и, соответственно, к увеличению суммарной дозы облучения, что и привело к МЛП с дальнейшим образованием поздних лучевых язв. При этом сохраняющееся снижение коронарного кровотока не позволяло осуществить пересадку полнослойного лоскута на сосудистой ножке, которая в настоящее время является методом



Рис. 5. Полная эпителизация поздней лучевой язвы после курса терапии мезенхимальными стволовыми клетками

выбора для лечения поздних лучевых язв [30, 35, 36]. По-видимому, единственным способом лечения при невозможности хирургического вмешательства для этих больных должно рассматриваться применение клеточных технологий — аппликации или внутрикожного введения культуры мезенхимальных стволовых клеток [34].

Многочисленные зарубежные публикации и наш собственный опыт свидетельствуют, что при эндоваскулярных вмешательствах, проводимых под постоянным рентгеновским контролем, возможно развитие осложнений — острых и хронических МЛП.

Факторами, способствующими развитию этих осложнений, являются: удлинение за счет технических сложностей или недостаточной оперативной техники продолжительности облучения; уменьшение фокусного расстояния вследствие увеличения массы тела больного или увеличения высоты расположения операционного стола; повторение подобных вмешательств в одной и той же зоне; в крайне редких случаях — неисправность оборудования.

Заключение

С целью уменьшения вероятности развития МЛП или раннего выявления подобных осложнений и начала адекватного лечения, можно рекомендовать при проведении процедуры эндоваскулярного вмешательства следующие мероприятия:

1. Заполнение специального протокола для занесения сведений о виде и длительности диагности-

ческой или лечебной процедуры в целом, о длительности облучения больного, суммарной дозе на кожу в областях, подвергающихся лучевому воздействию, фокусном расстоянии, угле падения пучка рентгеновского излучения на поверхность тела больного, различных параметрах рентгеноскопии (напряжение на трубке, экспозиция, фильтрация пучка).

2. Возможно использование пленочных дозиметров для измерений *in vivo* суммарной дозы за время процедуры.
3. Больные, у которых во время процедуры суммарная доза достигла 3 Гр, или те, у кого при повторном проведении процедур суммарная доза за 1 раз достигла 1 Гр, должны быть отнесены в группу высокого риска по развитию лучевых поражений. Для них должно быть рекомендовано динамическое наблюдение с периодическим осмотром кожных покровов.

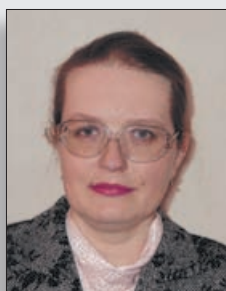
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chida K., Saito H., Otani H. et al. Relationship between fluoroscopic time, dose–area product, body weight, and maximum radiation skin dose in cardiac interventional procedures. // Amer. J. Roentgenol., 2006, **186**, No. 3, P. 774–778.
2. Slovut D. Cutaneous radiation injury after complex coronary intervention. // JACC Cardiovasc. Interv., 2009, **2**, No. 7, P. 701–702.
3. Sharp C. Medical accidents with local injury from use of medical fluoroscopy. // In: “Medical Management of Radiation Accidents”. Edited by I.A. Gusev, A.K. Guskova, F.A. Mettler. – CRC Press, 2001, P. 313–318.
4. Tanaka J. The potential patient skin injuries from radiologically guided interventional procedure: the present condition and recommendable measure. // Igaku Butsuri, 2002, **22**, No. 2, P. 98–104.
5. Kato M., Chida K., Sato T. et al. Patient skin injury in cardiac intervention procedures. // Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2010, **66**, No. 6, P. 688–689.
6. Aerts A., Decraene T., van den Oord J.J. et al. Chronic radiodermatitis following percutaneous coronary interventions: a report of two cases. // J. Eur. Acad. Dermatol. Venerol., 2003, **17**, No. 3, P. 340–343.
7. Banaag Lde O., Carter M.J. Radionecrosis induced by cardiac imaging procedures: a case study of a 66-year-old diabetic male with comorbidities. // J. Invasive Cardiol., 2008, **20**, No. 8, P. 233–236.
8. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. // Ann ICRP, 2000, **30**, No. 2, P. 7–67.
9. Vlietstra R.E., Wagner L.K., Koenig T., Mettler F. Radiation burns as a severe complication of fluoroscopically guided cardiological interventions. // J. Interv. Cardiol., 2004, **17**, No. 3, P. 131–142.
10. Wong L., Rehm J. Radiation Injury from a fluoroscopic Procedure. // N. Engl. J. Med., 2004, **350**, No. 25, P. 23–29.
11. Bogaert E., Bacher K., Lemmens K. et al. A large-scale multicentre study of patient skin doses in interventional cardiology dose-area product action levels and dose reference levels. // Br. J. Radiol., 2009, **82**, No. 976, P. 303–312.
12. Mettler F.A. Jr, Koenig T.R., Wagner L.K., Kelsey C.A. Radiation injuries after fluoroscopic procedures. // Semin Ultrasound CT MR, 2002, **23**, No. 5, P. 428–442.
13. Granel F., Barbaud A., Gillet-Terver M.N. et al. Chronic radiodermatitis after interventional cardiac catheterization. Four cases. // Ann. Dermatol. Venerol., 1998, **125**, No. 6–7, P. 405–407.
14. Vano E., Goicolea J., Galvan C. et al. Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures. // Brit. J. Radiol., 2001, **74**, No. 887, P. 1023–1031.
15. Kawakami T., Saito R., Miyazaki S. Chronic radiodermatitis following repeated percutaneous transluminal coronary angioplasty. // Brit. J. Dermatol., 1999, **141**, No. 1, P. 150–153.
16. Sovik E., Klow N.E., Hellesnes J., Lykke J. Radiation-induced skin injury after percutaneous transluminal coronary angioplasty. Case report. // Acta Radiol., 1996, **37**, No. 1, Pt. 1, P. 305–306.
17. Monaco J.L., Bowen K., Tadros P.N., Witt P.D. Iatrogenic deep muscolocutaneous radiation injury following percutaneous coronary intervention. // J. Invasive Cardiol., 2003, **15**, No. 8, P. 451–453.
18. Ukisu R., Kushihashi T., Soh I. Skin injuries caused by fluoroscopically guided interventional procedures: case-based review and self-assessment module. // AJR, 2009, **193**, P. S59–S69.
19. Food and Drug Administration. Important information for physicians and other healthcare professionals: recording information in the patient’s medical record that identifies the potential for serious x-ray-induced skin injuries following fluoroscopically guided procedures. – Rockville, Md: Center for Devices and Radiological Health, Food and Drug Administration, Sept. 15, 1995, P. 63–78.
20. Shope T.B. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. // RadioGraphics, 1996, **16**, P. 1195–1199.
21. Dandurand M., Huet P., Guillot B. Radiodermatitis secondaires aux explorations endovasculaires: 5 observations. // Ann. Dermatol. Venerol., 1999, **126**, No. 5, P. 413–417.
22. Ketteler E.R., Brown K.R. Radiation exposure in endovascular procedures. // J. Vasc. Surg., 2011, **53**, No. 1, P. 35S–38S.

23. *Majewska N., Stanisz M.G., Klos M.A. et al.* Patients radiation doses during thoracic stent-graft implantation: the problem of long-lasting procedures. // *Ann. Thorac. Surg.*, 2012, **93**, No. 2, P. 465–472.
24. *Vano E., Fernandez J.M., Sanchez R.M. et al.* Patient radiation dose management in the follow-up of potential skin injuries in neuroradiology. // *Amer. J. Neuroradiol.*, 2013, **34**, P. 277–282.
25. *Mooney R.B., McKinstry C.S., Kamel H.A.* Absorbed dose and deterministic effects to patients from interventional neuroradiology. // *Brit. J. Radiol.*, 2000, **73**, No. 871, P. 745–751.
26. *Geijer H., Larzon T., Popek R., Beckman K.W.* Radiation exposure in stent-grafting of abdominal aortic aneurysms. // *Brit. J. Radiol.*, 2005, **78**, P. 906–912.
27. *Frazier T.H., Richardson J.B., Fabre V.C., Callen J.P.* Fluoroscopy-induced chronic radiation skin injury: a disease perhaps often overlooked. // *Arch. Dermatol.*, 2007, **143**, No. 5, P. 637–640.
28. *Lopez A., Gil I., Lopez G., Pujol R.M.* Chronic scalp ulceration as late complication of fluoroscopically guided cerebral aneurysm embolization. // *Dermatology*, 2012, **224**, No. 3, P. 198–203.
29. *Boncher J., Bergfeld W.F.* Fluoroscopy-induced chronic radiation dermatitis: a report of two additional cases and brief review of the literature. // *J. Cutan. Pathol.*, 2012, **39**, No. 1, P. 63–67.
30. *Pezzano M., Duterque M., Lardoux H. et al.* Thoracic radiodermatitis in interventional cardiology. Apropos of 6 cases. // *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.*, 2008, **61**, No. 6, P. 704–708.
31. *Dehen L., Vilmer C., Humiliere C. et al.* Chronic radio-dermatitis following cardiac catheterization: a report of two cases and brief review of the literature. // *Heart*, 1999, **81**, P. 308–312.
32. *Kalef-Ezra J.A., Karavasilis S., Ziogas D. et al.* Radiation burden of patients undergoing endovascular abdominal aortic aneurysm repair. // *J. Vasc. Surg.*, 2009, **49**, P. 283–287.
33. *Miller D.L., Balter S., Noonan P.T., Georgia J.D.* Minimizing radiation-induced skin injury in interventional radiology procedures. // *Radiology*, 2002, **225**, P. 329–336.
34. *Котенко К.В., Еремин И.И., Мороз Б.Б. и соавт.* Клеточные технологии в лечении радиационных ожогов: опыт ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. // *Клеточная трансплантология и тканевая инженерия*, 2012, **VII**, № 2, С. 97–102.
35. *Hashimoto I., Sedo H., Inatsugi K., Arase S.* Severe radiation-induced injury after cardiac catheter ablation: a case requiring free anterolateral thigh flap and vastus lateralis muscle flap reconstruction on the upper arm. // *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.*, 2008, **61**, No. 6, P. 704–708.
36. *Otterburn D., Losken A.* Iatrogenic fluoroscopy injury to the skin. // *Ann. Plast. Surg.*, 2010, **65**, No. 5, P. 462–465.

Поступила: 09.04.2013

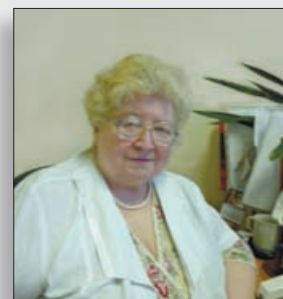
Принята к публикации: 04.12.2013



Галстян Ирина Алексеевна, в области радиационной медицины работает с 1986 г. В ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (ранее ИБФ МЗ СССР) прошла путь от младшего научного сотрудника до заведующей лабораторией местных лучевых поражений и последствий острой лучевой болезни. Доктор медицинских наук, автор 126 научных трудов, в том числе 4 монографий (в соавторстве).

Надежина Наталия Михайловна, в области радиационной медицины работает с 1971 г. В ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (ранее ИБФ МЗ СССР) прошла путь от младшего научного сотрудника до заведующей отделением местных лучевых поражений и последствий острой лучевой болезни. В 1986 г. во время оказания медицинской помощи пострадавшим во

время аварии на ЧАЭС являлась главным врачом клинического отдела. В настоящее время – ведущий научный сотрудник лаборатории местных лучевых поражений и последствий острой лучевой болезни. Кандидат медицинских наук, автор 198 научных трудов, в том числе 6 монографий.



А.В. Барабанова, А.А. Гордеева, Н.В. Зиновьева

РАННЯЯ ЭРИТРОПЕНИЯ ПРИ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ ОТ НЕРАВНОМЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ: ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПАТОГЕНЕЗА

A.V. Barabanova, A.A. Gordeeva, N.V. Zinovyeva

Early Erythropenia in Acute Radiation Disease after Non-Uniform Exposure: Possible Pathogenetic Mechanisms

РЕФЕРАТ

Цель: Рассмотреть особенности клинического течения острой лучевой болезни человека, возникающей в условиях неравномерного облучения, подтвердить вероятность развития эритропении у таких больных в ранние сроки и изучить возможные причины этого явления.

Материал и методы: Данные клинического архива — истории болезни с гемограммами 25 больных, подвергшихся острому лучевому воздействию с неравномерным распределением поглощенной дозы по телу, при условии более чем трехкратного перепада дозы и превышением дозы 10 Гр на максимально облученный сегмент тела. Рассмотрены 3 группы больных: 11 человек, подвергшихся гамма-облучению, и по 7 человек в группах, подвергшихся гамма-нейтронному и гамма-бета излучению. У всех больных имело место сочетание костномозгового синдрома (КМС) с местными лучевыми поражениями (МЛП). Изучалась динамика изменений показателей периферической крови с определением сроков и степени снижения числа эритроцитов и проводилось сопоставление этих показателей с основными клиническими проявлениями лучевой болезни каждого больного.

Результаты: Ранняя эритропения — снижение числа эритроцитов в периферической крови до $3,5 \times 10^{12}/л$ и ниже, наблюдавшаяся в течение первой — второй недели болезни, была отмечена у 14 больных с наиболее тяжелыми и распространенными местными лучевыми поражениями (МЛП). Несколько менее выраженная (до $3,7 \times 10^{12}/л$ или более поздняя (на третьей неделе) эритропения наблюдались у больных с меньшими по тяжести или распространенности МЛП. В трех случаях снижение эритроцитов не обнаружено. Глубина и сроки эритропении не зависели от тяжести КМС. По срокам возникновения эритропении совпадала с или следовала непосредственно за развитием тяжелых отеков тканей и появлением некроза в зонах максимального облучения, что соответствует срокам тяжелых нарушений микроциркуляции в облученных тканях и последующего развития синдрома эндогенной интоксикации, характерных для острой лучевой болезни от неравномерного облучения.

Заключение: Совпадение сроков развития ранней эритропении, не зависящей от степени КМС, со временем развития тяжелых отеков и некрозов в местно облученных тканях и связь выраженности снижения числа эритроцитов с глубиной и распространенностью некрозов позволяют предположить, что основным механизмом ее развития при изучаемой форме острой лучевой болезни является микроангиопатический гемолиз.

Ключевые слова: острая лучевая болезнь, неравномерное облучение, костномозговой синдром, местные лучевые поражения, эритропения

ABSTRACT

Purpose: To study the features of acute radiation disease in group of patients exposed to radiation with non-uniform distribution of absorbed dose within the body; the time and grade of possible early erythropenia estimation; clarify its pathogenesis.

Material and methods: Medical histories of 25 patients suffered with acute radiation disease from non-uniform exposure: more than three times gradient of dose by body with maximal local dose higher 10 Gy. Three groups of patients were considered dependently on type of radiation: gamma-radiation 11 patients, gamma-neutron and gamma-beta groups by 7 patients each. Clinical picture in all patients was characterized by compound of bone marrow syndrome (BMS) with local radiation injury (LRI). The time of appearance and the grade of erythropenia were registered and were compared with the main clinical signs of the disease.

Results: Early erythropenia (drop to $3.5 \times 10^{12}/l$ and lower) in period not later than end of the second week was registered in 14 cases with the most severe and spread local radiation injury (LRI). Some slightly expressed decrease of erythrocytes' number, or the same later its' appearing, was found in cases with some less expressed, or not so spread LRI. There was no decrease of erythrocytes in three patients with the most limited by surface LRI. There was no correlation between the grade of erythropenia and bone marrow syndrome (BMS) severity. Decrease of erythrocyte was registered at the same time (or slightly later), as an oedema and necrosis in zone of LRI developed, and that corresponded to the period of significant microcirculation's disorders and following endogenous intoxication developing.

Conclusion: The absence of correlation between the grade and time of erythropenia and BMS severity, as well as coincidence in time of erythropenia appearance with severe edema and necrosis in zone of local injuries lets us to suppose that intravascular hemolysis is the main cause of erythropenia in patients with acute radiation syndrome resulted from non-uniform irradiation.

Key words: acute radiation disease, non-uniform exposure, bone marrow syndrome, local radiation injury, erythropenia

Введение

Более пятидесяти лет прошло с тех пор, когда впервые в медицинской литературе был поставлен вопрос о значении особенностей неравномерного распределения поглощенной дозы ионизирующего излучения (ИИ) по телу пострадавшего в радиационной аварии для реализации эффектов поражения [1, 2]. Эти работы содержат описания отдельных случаев острой лучевой болезни (ОЛБ), на примере которых можно заметить те или иные различия течения ОЛБ. Более детально и глубоко данный вопрос обсужден в монографии А.К. Гуськовой и Г.Д. Байсоголова [3]. По мере накопления клинических наблюдений случаев ОЛБ при большем разнообразии условий аварийного облучения стало возможным осуществить более углубленный анализ роли неравномерности распределения дозы по телу и сделать соответствующие выводы о роли этого фактора как для клинического течения патологического процесса, так и для выбора лечебной тактики и решения ряда организационных вопросов медицинской помощи. [4–7]. Одним из наиболее существенных результатов этих работ следует считать заключение о том, что для выявления значимых отличий в клинических проявлениях ОЛБ от неравномерного облучения (НО) необходимо достижение такой степени неравномерности, при которой имеет место более чем трехкратный перепад дозы по телу, а доза облучения отдельных наиболее пораженных сегментов тела превышает 10 Гр. При всех вариантах НО клиника ОЛБ характеризуется сочетанием нескольких, иногда конкурирующих по тяжести, синдромов. Наиболее частый вариант — сочетание костномозгового синдрома (КМС) с синдромом местных лучевых поражений (МЛП). Большое значение в клинике ОЛБ от НО имеет синдром эндогенной интоксикации, выраженность которого наиболее тесно коррелирует с величиной массы кожи в зоне некроза. Иногда складывалось впечатление, что у ряда больных в ранние сроки (первые 2–3 недели) имеет место снижение уровня эритроцитов в крови, никак не соответствующее лучевому поражению костного мозга. Однако специального анализа этого явления не было. В связи с этим представляется интересным более детально изучить вопрос о развитии ранней анемии у больных, подвергшихся неравномерному облучению в аварийных условиях.

Материал и методы

В основу анализа положены данные клинического архива с детальным изучением историй болезни с гемограммами 25 больных ОЛБ от НО (основная группа), подвергшихся радиационному воздействию в различных авариях, отличающихся, прежде все-

го, по виду поражающего излучения. При этом неравномерность распределения поглощенной дозы характеризовалась более чем трехкратным перепадом ее величины по телу со значением поглощенной дозы выше 10 Гр на максимально облученный сегмент. Были выбраны 3 подгруппы больных: 11 человек, подвергшихся γ -облучению, и по 7 человек, подвергшихся воздействию γ -n- и γ - β -облучению. У всех больных имело место сочетание КМС с МЛП. Критерием начала эритропении принималось снижение числа эритроцитов в периферической крови ниже $3,5 \times 10^{12}/л$. Определялись также: средняя суточная «потеря» эритроцитов за период от дня облучения до дня первого снижения их числа до критерияльного уровня и относительная продолжительность жизни эритроцитов. Показатели, характеризующие сроки и темп развития анемии, сопоставлялись с другими клиническими проявлениями, включая глубину и сроки развития МЛП.

Проведено также сравнение нескольких наблюдений из основной группы больных с показателями уровня эритроцитов больных ОЛБ от равномерного облучения при одинаковой степени тяжести КМС (всего 8 больных).

В табл. 1 представлено распределение больных основной группы по степеням тяжести КМС и МЛП в подгруппах, различающихся по виду воздействующего излучения.

Таблица 1

Распределение больных по степени тяжести КМС* и МЛП** в группах, отличающихся по виду лучевого воздействия

Группы больных	Степень КМС						
	0–I	II	III	IV	I–II	III	IV
γ	2	6	3	0	1	3	7
β - γ	0	3	3	1	0	2	5
γ -n	1	4	1	1	0	4	3

Примечание:

*Принятые критерии степени тяжести: КМС I — начало агранулоцитоза после 28 сут; КМС II — начало агранулоцитоза между 18 и 28 сут; КМС III — начало агранулоцитоза между 10 и 18 сут; КМС IV — более раннее начало агранулоцитоза;

**МЛП I — только эритема кожи; МЛП II — максимум изменений — пузыри и влажная десквамация; МЛП III — наличие эрозий и язв; МЛП IV — некроз кожи и подлежащих тканей

Результаты и обсуждение

Одной из существенных особенностей клинической картины у больных рассматриваемых групп было появление в первые часы/дни выраженной стойкой эритемы в зоне максимального лучевого воздействия. Локализация этой эритемы указывала на то, какая именно часть тела подверглась наибо-

лее тяжелому облучению. В случаях, когда локальная доза превышала 70–100 Гр, эритема сопровождается отеком, а больные жаловались на чувство жжения. Время возникновения рвоты в среднем примерно соответствовало степени тяжести поражения костного мозга. Несколько более выражен был начальный лейкоцитоз, а ранняя лимфопения оказывалась более глубокой и стойкой, составляя в первые 1–3 сут 30–50 % от соответствующего уровня при равномерном облучении.

Продолжительность латентного периода ОЛБ оказывалась тем короче, чем тяжелее были МЛП, и еще до начала развития цитопении общее состояние больных ухудшалось из-за появления клинически значимых признаков поражения кожи. МЛП давали о себе знать уже в первую – вторую неделю развитием болевого синдрома и лихорадки.

Клиника МЛП в рассматриваемых группах отличалась в зависимости от величины поглощенной дозы достаточно широкой гаммой патологических изменений как в коже, так и в подлежащих тканях, а у некоторых больных – и во внутренних органах. В группе больных, подвергшихся воздействию γ -радиации, величины поглощенных доз в зоне максимального облучения составляли от 30 до 900 Гр, и видимые на глаз изменения кожи проявлялись не только эритемой, но и ранним стойким отеком тканей, а при наиболее высоких дозах наблюдалось раннее развитие некроза. Для больных группы β -γ-облучения наиболее характерной чертой МЛП была значительная распространенность поражений (до 60 % поверхности тела) и большая «мозаичность» клинических проявлений. Все эти больные были из числа пострадавших в аварии на ЧАЭС. Особенности поражений кожи (МЛП) у них описаны в работе [8–10], Дозы β -излучения были в 10–20 раз выше доз γ -излучения и составляли от 30–50 Гр до 100–200 Гр на отдельные участки тела.

МЛП при γ -п-поражении сильно варьировали в своих проявлениях и зависели в основном от условий аварии, однако во всех случаях характеризовались большой глубиной поражений, хотя и при несколько более медленном во времени их развития по сравнению с группой γ -поражений.

Период разгара КМС характеризуется, как известно, прежде всего, цитопенией с угрозой инфекционных и геморрагических осложнений. ОЛБ от НО в рассматриваемых группах характеризуется меньшей глубиной агранулоцитоза по сравнению с ОЛБ от равномерного облучения при одинаковых сроках начала падения нейтрофилов. У изучаемых больных это соответствовало и меньшему проценту инфекций, однако частота эпизодов кровоточивости, напротив, была несколько выше. Меньшая глубина агранулоцитоза объясняется тем, что в условиях НО всегда

есть участки костного мозга, облученные в меньшей дозе (или не облученные вовсе), и это обеспечивает несколько более высокий уровень клеток на периферии и более раннее восстановление. При этом в отношении восстановления это не единственное объяснение – возможно, также имеет место стимуляция кроветворения существующими лучевыми ожогами. Повышенная кровоточивость связана, в основном, с нарушениями микроциркуляции в зонах максимального облучения тканей.

Наиболее значимым отличием периода разгара ОЛБ от НО была большая выраженность и продолжительность высокой лихорадки со значительной тахикардией. При этом высокая лихорадка иногда сохранялась и после нормализации уровня нейтрофилов в периферической крови. Причина длительной лихорадки – синдром эндогенной интоксикации (СЭИ), обусловленный массивным распадом тканей в зонах максимального облучения. В периоде разгара болезни определялись все остальные признаки СЭИ, описанные врачами-комбустиологами [11]: диспротеинемия с выраженной гипоальбуминемией и значительной потерей веса, анемия (гипогемоглобинемия), резкое повышение СОЭ и расстройства нервной системы по типу токсической энцефалопатии. Важно отметить, что выраженность СЭИ, как это показано в публикациях [6, 7, 10], находится в четкой зависимости от площади поражений кожи и от массы тканей в зоне некроза.

Период восстановления ОЛБ от НО в рамках настоящего исследования менее значим, однако следует упомянуть, что в отношении поражения кроветворения он оказывался относительно более благополучным, что не относится к выздоровлению в полном смысле слова. На значительно более долгий срок затягивался восстановительный процесс поражений кожи в основном за счет лучевого поражения сосудистой системы дермы, отчетливые признаки которого выявляются в конце второго – начале третьего месяца болезни в виде так называемой третьей или поздней волны эритемы.

В рассмотренной группе больных летальные исходы в сроки до одного месяца имели место в 4 случаях, в более поздние сроки (3–4 месяца после облучения) – еще в 4 случаях и 1 больной умер через год. Причинами смерти были поражения жизненно важных органов в зоне максимального воздействия и (или) сочетание этих поражений с тяжелой интоксикацией и дистрофическими изменениями в организме или в результате септических осложнений, обусловленных вторичной инфекцией тканей в зонах поздних некрозов.

Практически все больные, перенесшие ОЛБ в сочетании с поражениями кожи и МЛП, остались ин-

валидами и нуждались в постоянном наблюдении и лечении.

Рассмотрим характеристики выявляемой ранней анемии у больных ОЛБ от НО.

В сроки первых двух недель эритропения до $3,5 \times 10^{12}/л$ и ниже наблюдалась у 14 человек, при этом у большинства из них в последующую неделю шло углубление эритропении до величин ниже $3,0 \times 10^{12}/л$. Мы обозначали это термином «выраженная ранняя эритропения» (ВРЭ). Еще у троих больных было отмечено снижение числа эритроцитов до $3,7 \times 10^{12}/л$ — $3,8 \times 10^{12}/л$ в сроки первых двух недель, которое держалось примерно на таком уровне в последующие дни или ненадолго повышалось до принятых критериальных значений. Это — ранняя умеренная эритропения (РУЭ). Из оставшихся 8 больных пятеро имели более позднее (20–24 день) снижение до 3,5 млн — поздняя эритропения (ПЭ), и в трех случаях эритропения не наблюдалась (ЭНН). Снижение уровня гемоглобина (гипоглобулинемия) отмечено почти у всех пациентов основной группы, уровень снижения был более существенным и совпадал со сроками ВРЭ и РУЭ. Эта корреляция была менее четкой в случаях ПЭ. Кроме того, практически во всех случаях ВРЭ и РУЭ имело место обнаружение непрямого билирубина.

В табл. 2 представлено распределение больных с разной степенью эритропении у больных изученных трех подгрупп.

Таблица 2

Распределение больных с разной степенью эритропении в группах, отличающихся по виду радиационного фактора

Группа / число больных	Степень эритропении			
	ВРЭ	РУЭ	ПЭ	ЭНН
γ – /11	7	1	1	2
β – γ /7	5	1	0	1
γ – n /7	2	1	4	0
Всего	14	3	5	3

Средняя суточная «потеря» эритроцитов у больных с ВРЭ колебалась в пределах от $1,0 \times 10^{12}/л$ до $1,8 \times 10^{12}/л$, а у остальных больных — от $0,7 \times 10^{12}/л$ до $0,9 \times 10^{12}/л$. Продолжительность жизни эритроцитов сокращалась в 2, иногда 2,5 раза, составляя по полупериоду жизни от 16 до 21 сут при ВРЭ, и порядка 22–26 сут при РУЭ или ПЭ.

В табл. 3 суммированы данные на каждого пациента основной группы с указанием уникального индивидуального номера (УИН), величины доз облучения костного мозга и в зонах максимального воз-

действия, степени тяжести и площади МЛП и характеристики наблюдавшейся у них эритропении. Эти данные свидетельствуют о том, что ВРЭ наблюдалась у больных с наиболее высокими дозами в зонах максимального облучения и, соответственно, с наиболее тяжелыми МЛП. Кроме того, у 8 больных (УИН 1–5, 12, 13 и 16) из 14 с ВРЭ имело место значительное облучение области живота, и кишечник оказывался в числе критических органов. Пороговые дозы повреждения клеточных структур тонкой и толстой кишки, как известно, составляют 8,0–10,0 Гр и 15,0–20,0 Гр соответственно. У этих больных наблюдались, кроме тяжелых МЛП, различные варианты сочетания кишечного и гематологического синдромов в зависимости от конкретного распределения дозы радиации по телу. Первичная эритема кожи в области живота была у них значительно выражена и сопровождалась отеком кожи. Ее границы давали хорошее представление о распространенности поражения кишечника, что связано с близостью значений пороговых доз поражения эпидермиса и кишечника.

Представлялось интересным выяснить, с какими именно клиническими событиями во времени совпадают, или вслед за какими начинаются закономерно значимые сдвиги в показателях уровня эритроцитов. Анализ данных клинических наблюдений с УИН 1 по 6 больных (табл. 3), дозы локального облучения которых были наиболее высокими, показал, что снижение числа эритроцитов у них происходило практически одновременно с развитием глубокого некроза кожи и мышечных тканей в области одного или обоих бедер, а именно на 6–8-е сут после облучения. Такой же вывод можно сделать и по данным наблюдения пятерых больных (УИН 12–16) группы β – γ . Для больных группы γ –n характерно выявление ВРЭ при меньших дозах локального облучения, но со значительной выраженностью отеков и болевого синдрома; по времени снижение эритроцитов у них наблюдается несколько раньше видимых на глаз некротических изменений кожи. Раннее умеренное снижение эритроцитов (РУЭ), отмеченное всего в 3 случаях (по одному в каждой группе) наблюдалось у больных с относительно ранним развитием отеков и некроза в местно облученных тканях, отличающихся от предыдущих больных меньшей площадью поражений (УИН 9 и 18). Аналогично могло повлиять подавление местного патологического процесса благодаря чрезвычайно активному лечению, например, ранней ампутации рук (УИН 21). ПЭ, отмеченная у пяти больных, по времени своего развития соответствовала более медленной динамике местных поражений и несколько меньшей площади собственно некротических изменений кожи.

Таблица 3

Дозы облучения, площадь и степень МЛП у больных основной группы и наблюдавшаяся эритропения

№ п/п	УИН	Вид ИИ	Доза на КМ, Гр	Максимальная локальная доза, Гр	Площадь МЛП, % поверхности тела	Степень тяжести МЛП	Степень тяжести КМС	Характер эритропении/ гипогемоглобин/ непрямой билирубин
1	3005	γ	4,5	1000	30	IV	IV	ВРЭ /+ / +
2	3001	γ	2,1	700	20	IV	II	ВРЭ /+ / +
3	3004	γ	2,2	750	15	IV	II	ВРЭ /+ / +
4	3003	γ	2,5	900	25	IV	II	ВРЭ /+ / +
5	3002	γ	2,2	800	15	IV	II	ВРЭ /+ / +
6	3007	γ	5,1	500	8	IV	III	ВРЭ /+ / +
7	3029	γ	4,5	70	8	IV	III	ВРЭ /+ / +
8	3735	γ	0,9	150	10	IV	I	ПЭ /+ / -
9	3738	γ	0,8	70	5	IV	I	РУЭ /+ / -
10	3041	γ	3,6	18	5	II	II	ЭНН /+ / -
11	3028	γ	3,3	40	5	III	II	ЭНН /- / -
12	1028	β - γ	6,1	120	70	IV	IV	ВРЭ /+ / +
13	1031	β - γ	4,7	94	50	IV	III	ВРЭ /+ / +
14	1052	β - γ	3,6	200	50	IV	II	ВРЭ /+ / +
15	1049	β - γ	2,2	100	40	IV	II	ВРЭ /+ / +
16	1029	β - γ	7,5	150	35	IV	IV	ВРЭ /+ / +
17	1033	β - γ	4,9	35	30	III	III	ЭНН / ± / -
18	1013	β - γ	5,5	40	25	III	III	РУЭ /+ / ±
19	3046	γ - n	6,2	60	40	IV	IV	ВРЭ /+ / +
20	3020	γ - n	5,4	50	25	III	III	ПЭ /+ / +
21	3025	γ - n	2,5	70	20	IV	II	РУЭ /+ / +
22	3042	γ - n	2,0	40	36	IV	I	ВРЭ /+ / +
23	3036	γ - n	3,5	30	24	III	II	ПЭ /+ / -
24	3030	γ - n	3,5	30	20	III	II	ПЭ / ± / -
25	3040	γ - n	2,6	30	20	III	II	ПЭ /+ / ±

Все эти закономерности могут быть прослежены по данным табл. 3.

Наглядное представление о сроках снижения числа эритроцитов и их связи с патологическим процессом в зонах МЛП дают рис. 1 и рис. 2 — карты-схемы двух больных (1049 и 1052 соответственно). На рисунках в верхней части представлена динамика видимых на глаз изменений кожи с использованием разработанной нами ранее [7] шкалы балльных оценок, на которых оценке «1» соответствует появление эритемы кожи, а оценке «4» — развитие некроза. Для каждого больного представлены по два «контрольных» наблюдения.

Проведенное нами изучение нескольких наблюдений ОЛБ, связанных с относительно равномерным облучением без сочетания с МЛП, может служить своего рода «контролем» к ряду наблюдений основной группы исследования.

Для наблюдений УИН 3005, 3007 и 3029 с дозами на костный мозг от 4,5 до 5,1 Гр с выявленной ВРЭ выбрано контролем наблюдение с УИН 3024 (4,5 Гр), где отмечена умеренная эритропения после 21 сут.

Контролем для наблюдений УИН 1028 и 3046 (дозы на костный мозг 6,1 и 6,2 Гр), имевших, по нашим данным, ВРЭ, выбрано наблюдение с УИН 3008, с несколько большей дозой на костный мозг, где эритропения не наблюдалась.

Интересным является наблюдение трех больных, пострадавших в одной аварии и имеющих почти одинаковые дозы облучения костного мозга и близкие сроки снижения гранулоцитов, но отличающихся по наличию МЛП и их степени тяжести. Это больные УИН 3036, 3030 с наличием МЛП (значения доз локального воздействия и площади МЛП представлены в табл. 3) и УИН 3037 без МЛП. Во всех трех случаях наблюдалась ПЭ. Однако раньше других — на 27-й день и более длительной и глубокой (до $2,5 \times 10^{12}/л$) она была у пациента 3036, а у больного 3037 снижение до $3,0 \times 10^{12}/л$ отмечено на 32-й день и наблюдалось всего в течение трех дней.

Для больного с УИН 1029 контролем служил случай УИН 1022. Это сравнение является наиболее демонстративным, оно приведено на рис. 3, из которого видно почти полное совпадение динамики гранулоцитов при значительных различиях показателей

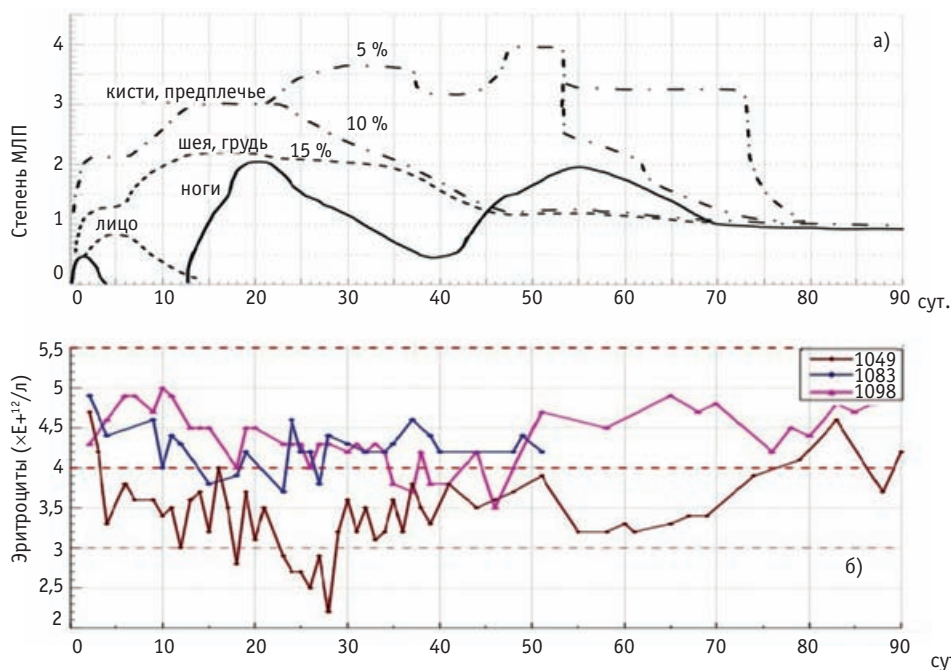


Рис. 1. Клиническая карта-схема больного УИН 1049.
а — схема развития МЛП (постепенные изменения кожи в баллах от «1» — появление эритемы до «4» — развитие некроза) больного УИН 1049; б — динамика изменения числа эритроцитов в периферической крови больного УИН 1049 (коричневая кривая) в сравнении с динамикой эритроцитов двух других больных (УИН 1083 и УИН 1098) с ОЛБ с близкими дозами на костный мозг, но не имеющих МЛП. На обоих графиках по оси абсцисс — дни болезни, сутки

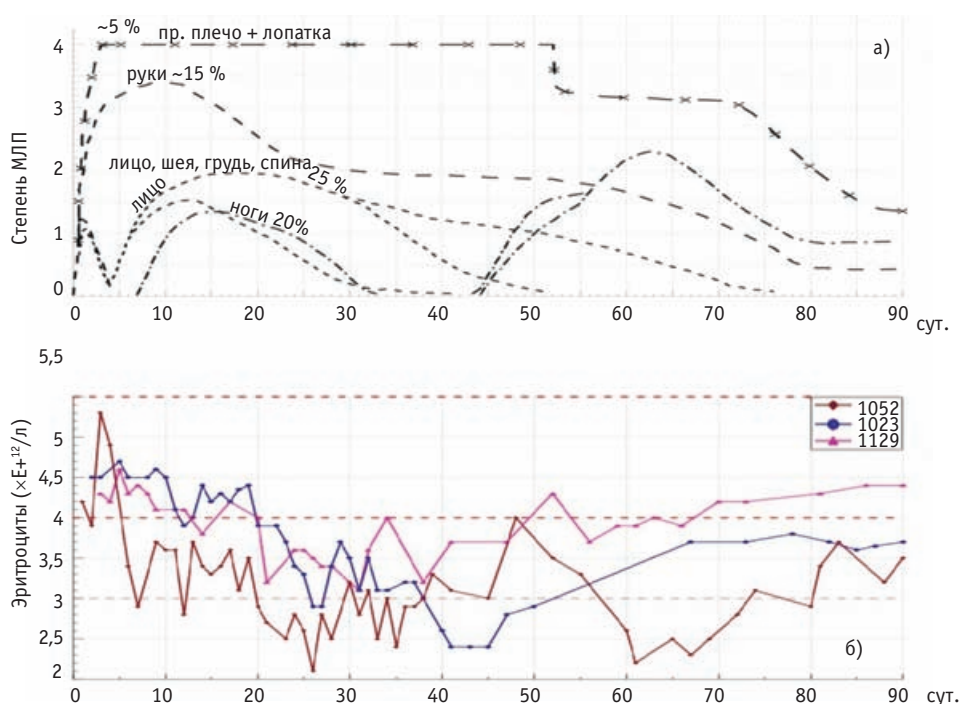


Рис. 2. Клиническая карта-схема больного УИН 1052.
а — схема развития МЛП (постепенные изменения кожи в баллах от «1» — появление эритемы до «4» — развитие некроза) больного УИН 1052; б — динамика изменения числа эритроцитов в периферической крови больного УИН 1052 (коричневая кривая) в сравнении с динамикой эритроцитов двух других больных (УИН 1123 и УИН 1129) с ОЛБ с близкими дозами на костный мозг, но не имеющих МЛП. На обоих графиках по оси абсцисс — дни болезни, сутки

эритроцитов и гемоглобина. Можно видеть совпадение сроков снижения эритроцитов и уровня гемоглобина больного 1029 — (красные кривые) со сроками нарастания отеков и появления некрозов на кривых верхнего графика.

Прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что во всех изученных группах степень и темпы развития анемии не были связаны со степенью пора-

жения костного мозга. Вместе с тем известно, что некоторое снижение эритроцитов при ОЛБ в условиях равномерного распределения дозы по телу может наблюдаться только значительно позже — в конце первого или начале второго месяца болезни, когда естественная убыль эритроцитов становится ощутимой, а поступление новых элементов из костного мозга еще не достигло необходимого уровня. Такие поздние

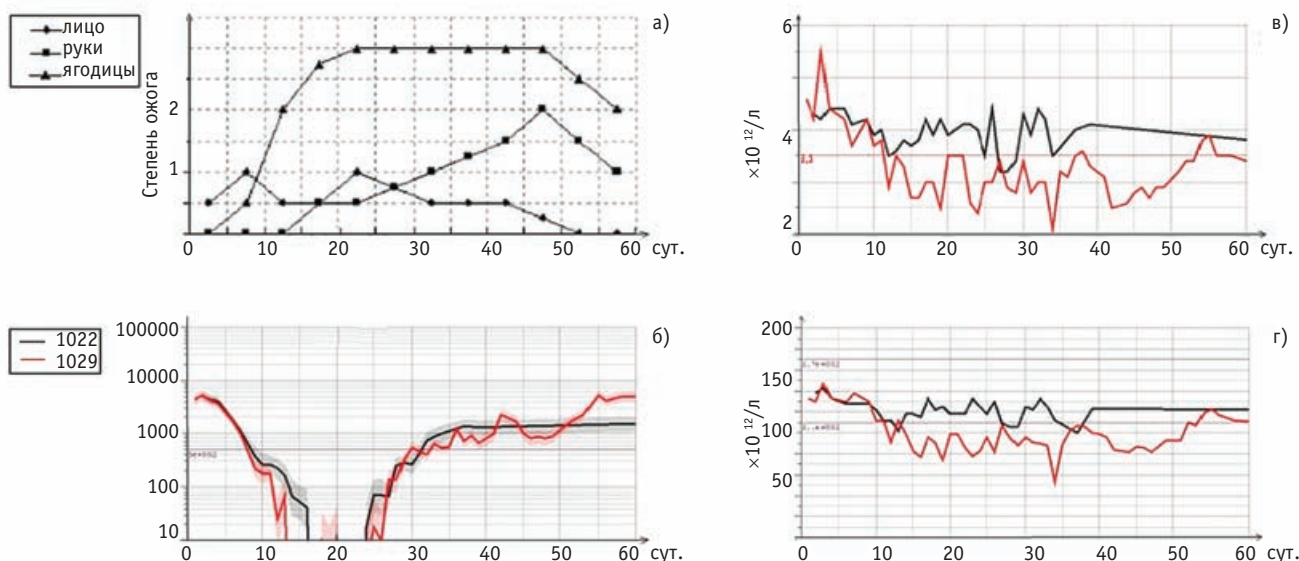


Рис. 3. Клиническая карта-схема сравнения больных УИН 1029 и УИН 1022.

а — схема развития МЛП (постепенные изменения кожи в баллах от «1» — появление эритемы до «4» — развитие некроза) больного УИН 1029;

б — уровни гранулоцитов больных УИН 1029 (красная кривая) и УИН 1022 (черная кривая);

в — число эритроцитов в периферической крови больных УИН 1029 (красная кривая) и УИН 1022 (черная кривая);

г — уровень гемоглобина в периферической крови больных УИН 1029 (красная кривая) и УИН 1022 (черная кривая).

На всех графиках по оси абсцисс — дни болезни, сутки

эритропении отмечались у части больных основной группы и в группе «контрольных» наблюдений. По данным ряда авторов [12–14], продолжительность жизни эритроцитов в диапазоне доз на костный мозг до 2,5–3,0 Гр практически не меняется, хотя и не исключается наличие некоторых опосредованных механизмов влияния на систему крови.

По данным проведенного нами исследования складывается определенное впечатление, что ведущим моментом для нарушений уровня эритроцитов в периферической крови при ОЛБ от НО являются степень тяжести, глубина и темпы развития МЛП. При этом наиболее существенным, по-видимому, является распространенность и сроки формирования некроза кожи и подлежащих тканей.

Данные наблюдений, приведенные в табл. 3, свидетельствуют также о том, что ПЭ или случаи ЭНН относятся к больным с относительно легкой степенью МЛП или небольшой их площадью. Проведенные нами, хотя и выборочные, сравнения наблюдений основной группы с наблюдениями из числа больных ОЛБ от равномерного облучения, не имевших МЛП, также подтверждает возможную связь выявляемой эритропении с патологическими процессами в зонах МЛП.

Какие же именно механизмы могут быть задействованы в этом процессе?

В клинической картине тяжелых термических ожогов причиной развивающейся анемии, как одного из проявлений ожоговой интоксикации, считают в первую очередь гибель эритроцитов под влиянием неких токсинов — продуктов мгновенно наступающего распада тканей, не исключается и прямое действие высокой температуры на элементы крови. При лучевом поражении последняя причина может быть полностью исключена, в то время как первая достойна обсуждения. Однако следует помнить, что в отличие от термических ожогов процесс распада тканей под действием ионизирующего излучения во времени растянут на дни и недели, что как бы снижает «силу удара». Кроме того, достаточно слабым звеном оказывается неопределенность в идентификации эндотоксинов. К ним, как правило, относят некие «среднемолекулярные соединения». Прямых данных о повышении содержания таких токсинов у человека после облучения нет, но косвенно об их наличии свидетельствуют положительные, хотя и кратковременные, влияние применения такой детоксикационной терапии, как плазмаферез и гемосорбция [8, 10]. Относительно влияния этих мероприятий на уровень эритроцитов трудно сделать прямое заключение, т.к. практически одновременно с детоксикацией у больных осуществлялась и интенсивная инфузионно-трансфузионная терапия.

Важным патогенетическим механизмом развития ряда клинических проявлений острого лучевого поражения являются нарушение микроциркуляции, особенно выраженное в зонах максимального воздействия радиации [15–17]. Оно характеризуется сложным сочетанием функциональных, преобладающих в наиболее ранние сроки, и нарастающих позже морфологических изменений. Капиллярное кровообращение в коже и других облученных тканях нарушается с первых минут после воздействия, характеризуется замедлением кровотока вплоть до развития стазов, выраженность и стойкость которых зависит от поглощенной дозы излучения. При дозах, превышающих 50–70 Гр, наблюдается уже в ранние сроки повышение проницаемости сосудистых мембран, что проявляется отеком кожи. В случаях МЛП средней и средне-тяжелой степени, когда имеет место отчетливый латентный период, сосудистая реакция в зоне поражения «затухает», но затем изменения сосудов вновь нарастают. Появляются изменения сосудистой мембраны — ее истончение и деформация, имеют место гибель эндотелия и сужение просвета, образуются множественные стазы и тромбозы, кровоток резко затрудняется, вплоть до полного его прекращения [17]. В этих условиях вполне реальным может быть внутрисосудистый гемолиз эритроцитов, который, естественно, тем значительнее, чем больший объем тканей вовлечен в патологический процесс. Эти изменения могут быть еще более усугублены развивающейся эндогенной интоксикацией в связи с нарастающим некрозом тканей.

Выводы

Наблюдавшийся нами параллелизм степени и сроков развития эритроцитопении с клиническими проявлениями МЛП позволяют предположить, что именно внутрисосудистая гибель эритроцитов, обусловленная снижением кровотока в отечно-некротизированных тканях, является ведущим механизмом ранней эритроцитопении у больных ОЛБ при НО. Определенным подтверждением этого является меньшая выраженность снижения эритроцитов при меньших по площади или степени тяжести МЛП и отсутствие признаков снижения эритроцитов в ранние сроки у больных ОЛБ от равномерного облучения, без сочетания с МЛП, но с близкими дозами воздействия на красный костный мозг. Это дает основание считать, что микроангиопатический гемолиз является одним из наиболее возможных патогенетических механизмов развития ранней эритроцитопении у больных ОЛБ от неравномерного облучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байсоголов Г.Д., Гуськова А.К. и соавт. Клиника и патологическая анатомия острой лучевой болезни крайне тяжелой степени (четыре случая). — М.: Медицина, 1959, 345 с.
2. Куришаков Н.А., Байсоголов Г.Д., Гуськова А.К. и соавт. О соотношениях местных тканевых и общих реакций в различные фазы острого лучевого синдрома человека. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 1966, **11**, № 4, С. 15–42.
3. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. — М.: Медицина, 1971.
4. Jammert H.J., Gongora L. et al. Clinical and biological comparison of two acute accidental irradiation: Mol and Brescia. // In: The Medical Basis for Radiation Accidents Preparedness. Hubner, K.F. and Fry, S.A.(eds.) — New York: Elsevier North Holland. 1980, P. 92–104.
5. Гогин Е.Е., Емельяненко В.М., Бенецкий Б.А., Филатов В.Н. Сочетанные радиационные поражения. — М.: ППО Известия, 2000, 240с.
6. Барабанова А.В., Баранов А.Е., Гуськова А.К. Острая лучевая болезнь человека от неравномерного облучения как клиническая модель комбинированных лучевых поражений. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 1982, **27**, № 11, С. 41–44.
7. Барабанова А.В., Гуськова А.К. Значение распределения поглощенных доз в объеме тела в исходе лучевого поражения. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 1982, **27**, № 11, С. 53–57.
8. Гуськова А.К., Баранов А.Е., Барабанова А.К. и соавт. Диагностика, клиническая картина и лечение острой лучевой болезни у пострадавших на Чернобыльской АЭС. Сообщение II: Некостномозговые синдромы лучевых поражений и их лечение. // Тер. архив. 1989, № 8, С. 99–103.
9. Barabanova A.V., Osanov D.P. The dependence of skin lesions on the depth-dose distribution from β -irradiation of people in the Chernobyl nuclear power plant accident. // Brit. J. Radiol., 1990, **50**, No. 4, P. 775–782.
10. Крючков В.П., Лобанева Н.В., Осанов Д.П. и соавт. Вклад β -низкоэнергетического γ -излучения в суммарное радиационное воздействие. // В кн: «Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС. Итоги работы научных и практических учреждений здравоохранения по ликвидации последствий аварии в 1986 году: Сборник материалов Всесоюзного симпозиума», Москва, 25–26 июня 1987 г. — М., 1987, С. 238–245.
11. Кузин М.И., Сологуб В.К., Юденич В.В. Ожоговая болезнь. — М.: Медицина, 1982, 160 с.
12. Груздев Г.П., Рождественский Л.М. Органно-тканевые аспекты острого радиационного поражения.

- // Итоги науки и техники. Серия «Радиационная биология». ВИНТИ АН СССР. Т. 2. — М., 1974, С. 55–101.
13. *Мосягина Е.Н., Владимирская Е.Б., Торубарова Н.А., Мызина Н.В.* Кинетика форменных элементов крови. — М.: Медицина, 1976, 272 с.
14. *Груздев Г.П.* Острый радиационный костномозговой синдром. — М.: Медицина, 1988, С. 144.
15. *Potten C.S.* Radiation and Skin. — London, Philadelphia: Taylor & Francis. 1985, 220 pp.
16. *Hopewell J.W.* The skin: Its structure and response to ionizing radiation. // Int. J. Radiat. Biol., 1990, **57**, P. 751–773.
17. *Филин С.В., Сачков А.В., Иванова Е.Ю. и соавт.* Раннее хирургическое лечение местных лучевых поражений. // Медицина катастроф, 2003, **2**, № 42, С. 42–45.

Поступила: 06.06.2013

Принята к публикации: 11.02.2014



Барабанова Анжелика Валентиновна – ведущий научный сотрудник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, доктор медицинских наук.

В проблеме радиационной медицины работает более 50 лет; с гордостью причисляет себя к школе члена-корреспондента РАМН, профессора Ангелины Константиновны Гуськовой. В научной деятельности постоянно развивает основные идеи своего учителя о роли пространственно-временного фактора распределения дозы излучения в клинике острой лучевой болезни и местных лучевых поражений.

Другим важным направлением научно-практической работы А.В. Барабановой является организация медицинской помощи при радиационных авариях, что связано с всесторонним изучением условий возникновения радиационных аварий и анализа особенностей облучения пострадавших в зависимости от источников ионизирующих излучений и технологий их использования.

А.В. Барабанова является активным участником создания сначала на базе Института биофизики, а затем ФМБЦ им. А.И. Бурназяна Регистра радиационных аварий и Базы данных по медицинским последствиям радиационных аварий. Эти направления научной деятельности, базирующиеся на многолетней практической лечебной работе, отражены в более чем 200 публикациях в периодической научной литературе и материалах научных форумов, в том числе десятки исследований отражены в иностранных журналах и в трудах международных симпозиумов и конференций.

В период 1989–1994 гг., работая в качестве научного эксперта МАГАТЭ, Анжелика Валентиновна выполняла организационно-методическую работу по подготовке и проведению ряда международных совещания и учебных курсов по медицинским аспектам радиационной безопасности. С её участием и/или под редакцией подготовлено и издано 15 официальных документов МАГАТЭ.

Ю.В. Гуменецкая, Ю.С. Мардынский, И.А. Гулидов, О.Б. Карякин
РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИК ПАЛЛИАТИВНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ
У БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ

Yu.V. Gumenetskaya, Yu.S. Mardynsky, I.A. Gulidov, O.B. Karyakin

Results of a Comparative Analysis of the Effectiveness of Different Methods
of Palliative Radiation Therapy for Bladder Cancer

РЕФЕРАТ

Цель: Анализ результатов паллиативной лучевой терапии у больных раком мочевого пузыря (РМП) и исследование влияния режимов фракционирования дозы на эффективность лечения.

Материал и методы: Изучены непосредственные и отдаленные результаты паллиативной лучевой терапии у 90 больных РМП, получивших лечение в МРНЦ Минздрава России в период с 1990 по 2010 гг. Применяли три режима фракционирования дозы:

- 1) традиционное фракционирование (ТФ; РОД 2 Гр, СОД 40–46 Гр; $n = 37$);
- 2) гипофракционирование (ГФ; РОД 3 Гр, СОД 30 Гр; $n = 22$);
- 3) ускоренное динамическое фракционирование (УДФ; СОД 30 Гр; $n = 31$).

Результаты: Проведение паллиативной лучевой терапии позволило купировать и уменьшить гематурию в 73,1 % и в 26,9 % случаев соответственно; уменьшить болевой синдром в области мочевого пузыря в 75,0 % случаев; достичь объективного ответа опухоли на лечение через 6 и 12 месяцев в 34,4 % и 31,1 % случаев соответственно. Медиана выживаемости после проведения паллиативного лечения составила $12,9 \pm 1,3$ мес. При применении режима ускоренного динамического фракционирования купирование гематурии наблюдали в 91,7 % случаев против 63,0 % при традиционном фракционировании ($p < 0,05$) и 62,5 % при гипофракционировании; достижение объективного ответа опухоли (через 6 месяцев после лечения) – в 48,4 % случаев, против 24,3 % при ТФ ($p < 0,05$) и 31,8 % случаев при ГФ. Поздние осложнения (мочевой пузырь) 1–2 степени тяжести (RTOG/EORTC) наблюдали в группе УДФ в 9,7 % случаев против 18,2 % в группе ГФ и 18,9 % случаев в группе ТФ ($p < 0,2$). Осложнений ≥ 3 степени тяжести выявлено не было. Медиана выживаемости пациентов в группе с традиционным фракционированием дозы составила $12,0 \pm 1,6$ мес, гипофракционированием – $12,3 \pm 4,4$ мес, а в группе ускоренного динамического фракционирования – $14,3 \pm 8,5$ мес.

Выводы: Лучевая терапия является эффективным методом паллиативного лечения больных РМП с осложненным течением заболевания, имеющих противопоказания к хирургическому и противоопухолевому лекарственному лечению. Применение режима ускоренного динамического фракционирования дозы позволило увеличить эффективность паллиативной помощи больным РМП и сократить сроки лечения без увеличения числа его осложнений.

Ключевые слова: рак мочевого пузыря, паллиативная лучевая терапия, режим фракционирования

ABSTRACT

Purpose: To analyze the results of palliative radiation therapy for bladder cancer and to assess the effects of dose-fractionation regimens on treatment effectiveness.

Material and methods: The immediate and long-term results of palliative radiation therapy in 90 bladder cancer patients who had been treated in the Medical Radiological Research Center within the period from 1990 to 2010 were analyzed. Three dose-fractionation regimens were used:

- 1) Conventional fractionation (CF; single tumor dose 2 Gy, total tumor dose 40–46 Gy; $n = 37$);
- 2) Hypofractionation (HF; single tumor dose 3 Gy, total tumor dose 30 Gy, $n = 22$);
- 3) Accelerated dynamic dose-fractionation (ADDF; total tumor dose 30 Gy, $n = 31$).

Results: Palliative radiation therapy could stop and reduce hematuria in 73.1 % and 26.9 % of cases, respectively; alleviate bladder pain syndrome in 75.0 % of cases; achieve objective tumor response to therapy after 6 months and 12 months in 34.4 % and 31.1 % of cases, respectively. Median survival after the palliative treatment was 12.9 ± 1.3 months. After accelerated dynamic fractionation, hematuria was stopped in 91.7 % of cases versus 63.0 % after conventional fractionation ($p < 0.05$) and 62.5 % of cases after hypofractionation; objective tumor response (6 months after therapy) was achieved in 48.4 % of cases versus 24.3 % after CF ($p < 0.05$) and 31.8 % of cases after HF. Late bladder complications of grades 1–2 (RTOG/EORTC) were seen in 9.7 % of cases in ADDF group versus 18.2 % in HF group and 18.9 % of cases in CF group ($p < 0.2$). No complications of grade ≥ 3 occurred. Median survival in CF group was 12.0 ± 1.6 months, in HF group – 12.3 ± 4.4 months, and in ADF group – 14.3 ± 8.5 months.

Conclusion: Radiation therapy is an effective palliative treatment in patients with contraindications for surgical and anti-tumor drug therapy of complications of bladder cancer. Accelerated dynamic dose-fractionation allowed to improve the effectiveness of palliative treatment in bladder cancer patients and to reduce treatment times without complications increasing.

Key words: bladder cancer, palliative radiation therapy, fractionation regimen

Введение

Наиболее важной проблемой онкоурологии является поздняя обращаемость больных раком мочевого пузыря (РМП), что ведет к появлению значительного числа пациентов с распространенными формами заболевания или выраженными его местными проявлениями, наиболее частыми из которых являются гематурия и боль. Традиционные консервативные методы купирования кровотечений и применение анальгетиков без проведения противоопухолевого лечения редко приводят к улучшению клинической картины заболевания. Вместе с тем, низкий соматический статус больных и распространенность РМП часто ограничивают возможность выполнения хирургического вмешательства и проведения противоопухолевой лекарственной терапии. В связи с этим поиск методов лечения состояний, представляющих непосредственную угрозу жизни пациентов и существенно снижающих ее качество, является актуальной проблемой терапии больных РМП.

Помочь таким пациентам возможно посредством проведения им дистанционной лучевой терапии (ДЛТ), основной целью которой является купирование или уменьшение местных симптомов заболевания [1, 2] с минимальной вероятностью развития тяжелых лучевых реакций и осложнений, которые могут усугубить и без того ослабленное соматическое состояние больного. Кроме того, задачей паллиативной лучевой терапии является «торможение» роста опухоли и уменьшение ее размеров, следствием чего может быть не только улучшение качества, но и продолжительности жизни пациентов [3].

Многие авторы считают, что при проведении паллиативной ДЛТ целесообразно применение режимов гипофракционирования, подразумевающих увеличение разовой очаговой дозы (РОД) при уменьшении количества фракций и суммарной очаговой дозы (СОД). Гипофракционное облучение существенно сокращает продолжительность лечения и обладает довольно высокой клинической эффективностью при проведении симптоматического и паллиативного лечения [4–9]. Вместе с тем, не сложилось единого мнения по поводу безопасности использования высоких РОД у больных РМП, т.к. в ряде исследований отмечено увеличение числа тяжелых осложнений при проведении лучевой терапии в режимах гипофракционирования [10–13]. В настоящее время отсутствуют стандартные подходы к решению данной проблемы, т.е. паллиативного лечения больных РМП, которым в силу значительной распространенности заболевания и/или выраженности его местных симптомов на фоне низкого соматического статуса проведение радикального лечения невозможно или не показано. Цель исследования — разработка оптимальных

режимов фракционирования паллиативной лучевой терапии РМП, позволяющих сократить сроки оказания специализированной помощи, а также повысить эффективность лечения при его удовлетворительной переносимости больными, — является одной из актуальных медицинских и социальных проблем.

Материал и методы

С 1990 по 2010 гг. в клинике МРНЦ Минздрава России была проведена лучевая терапия с паллиативной целью 90 больным РМП. Медиана наблюдения за пациентами составила 10,1 мес (от 1,0 до 109,4 мес). Мужчин было 76 (84,4 %), женщин — 14 (15,6 %). Медиана возраста больных составила 66,0 лет (диапазон от 40 до 84 лет), при этом 77 (85,6 %) пациентов были старше 60 лет, а 33 (36,7 %) — старше 70 лет. Морфологическое подтверждение диагноза было получено во всех случаях: у 89 (98,9 %) больных верифицирован переходноклеточный рак (G_1 — 5(5,6 %); G_2 — 23(25,6 %), G_{3-4} — 38(42,2 %); G_x — 23(25,6 %)), а у одного (1,1 %) пациента — плоскоклеточный рак. Степень распространения первичной опухоли (TNM) у большинства (63/70,0 %) пациентов до начала лечения соответствовала категориям T_{3-4} . Поражение регионарных лимфатических узлов было выявлено у 20 (22,2 %) больных (N_1 — у девяти (10,0 %); N_2 — у девяти (10,0 %); N_3 — у двух (2,2 %) пациентов). На момент постановки диагноза РМП 17 (18,9 %) больных исследуемой группы имели отдаленные метастазы: у 10 (11,1 %) пациентов диагностировано поражение лимфатических узлов, у шести (6,7 %) — метастатическое поражение костей, у четырех (4,4 %) больных — легких. Метастатическое поражение печени было выявлено у двух (2,2 %) пациентов, у одного (1,1 %) — почки, у одного (1,1 %) больного — полового члена.

Сопутствующие заболевания сердечно-сосудистой системы имели 59 (65,6 %) больных РМП, органов желудочно-кишечного тракта — 26 (28,9 %); респираторного тракта — 21 (23,3 %); эндокринной системы — 7 (7,8 %) пациентов; наличие второй злокачественной опухоли в процессе обследования выявлено у 11 (12,2 %) больных РМП. Нарушение функции почек разной степени выраженности, обусловленное наличием опухоли мочевого пузыря, до начала ДЛТ было выявлено у 48 (53,3 %) больных, при этом отсутствие функции почки на стороне поражения — у 19 (21,1 %), гидронефротическая трансформация почки — у 45 (50,0 %) пациентов (у 11 (12,2 %) больных — двухсторонний гидронефроз). По данным биохимических показателей, у 14 (15,6 %) пациентов выявлена почечная недостаточность, а нарушение функции единственной почки наблюдали у трех (3,3 %) больных РМП.

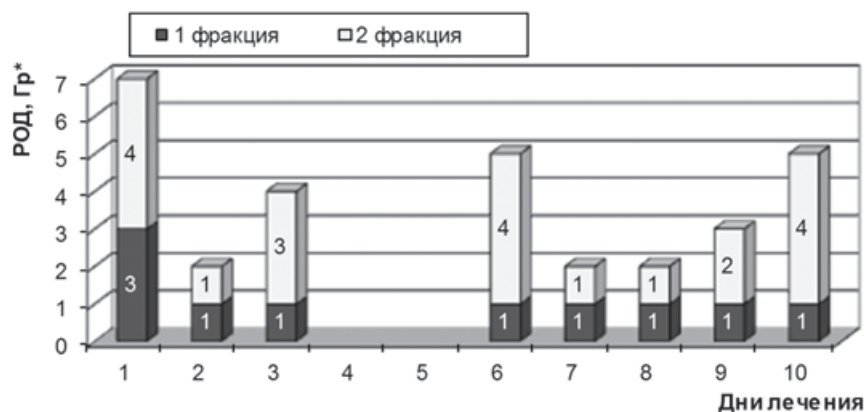


Рис. 1. Схема курса паллиативной лучевой терапии по методике УДФ

Примечание:
* интервал между фракциями составляет 4–5 часов;
По оси абсцисс «4, 5» – выходные дни (суббота, воскресенье)

Перед началом ДЛТ макрогематурию, которую не удавалось купировать ранее проводимой консервативной терапией, наблюдали у 67 (74,4 %) больных РМП, при этом у 20 (22,2 %) пациентов была диагностирована анемия 2–3 степени тяжести. Кроме того, 12 (13,3 %) больных до начала лечения предъявляли жалобы на выраженные боли в области мочевого пузыря, требующие постоянного приема ненаркотических или наркотических анальгетиков. Общее состояние 80 % больных исследуемой группы оценивалось по шкале Карновского – не более 50 %, а в соответствии с классификацией ECOG – не выше 3 баллов.

Таким образом, исследуемая группа была представлена пациентами преимущественно пожилого возраста, с тяжелым общим состоянием, наличием выраженных местных симптомов заболевания и ассоциированных с ними осложнений, резистентных к традиционному консервативному лечению. Больные имели выраженную сопутствующую патологию и/или распространенные формы РМП, что препятствовало проведению радикального лечения и ограничивало возможности применения хирургического вмешательства и противоопухолевой лекарственной терапии, поэтому единственным возможным методом противоопухолевого лечения для пациентов была лучевая терапия.

При проведении паллиативной ДЛТ применяли три режима фракционирования:

Группа 1 ($n = 37$) – режим традиционного фракционирования (ТФ): в РОД 2 Гр, ежедневно, 1 раз в день, 5 дней в неделю, до СОД 40–46 Гр;

Группа 2 ($n = 22$) – режим гипофракционирования (ГФ): в РОД 3 Гр, ежедневно, 1 раз в день, 5 дней в неделю, до СОД 30 Гр.

Группа 3 ($n = 31$) – режим ускоренного динамического фракционирования (УДФ). Методика лече-

ния была разработана на основе данных, полученных в результате математического моделирования кинетики опухолевого роста [14], а РОД и СОД были рассчитаны по модели ВДФ. Режим УДФ применяется в клинической практике паллиативного лечения больных РМП в МРНЦ Минздрава России с 2000 г. [15]. В целом, режим УДФ основан на использовании дробления дневной дозы на две одинаковые или различные по величине фракции от 1 до 4 Гр и динамическом варьировании дневной дозы в процессе курса ДЛТ. В течение 8 лечебных дней при данном способе фракционирования к опухоли подводилась СОД 30 Гр (67 ед. ВДФ; эквивалентно 40 Гр). Схема лечения с УДФ представлена на рис. 1.

При разработке методики предполагали, что укрупненные фракции (3 и 4 Гр) будут нацелены на девитализацию хорошо оксигенированных клеток опухоли, а к уменьшенным фракциям по 1 Гр будут более чувствительны клетки с пониженным содержанием кислорода. Кроме того, предполагали, что дробление дневной дозы будет подавлять репарацию сублетальных и потенциально летальных повреждений опухолевых клеток и способствовать максимальному воздействию излучения в наиболее чувствительных фазах их клеточного цикла, при этом ожидали уменьшение повреждающего действия радиации на здоровые ткани. Применение данной схемы значительно (почти в три раза) сокращало продолжительность лечения по сравнению с традиционным облучением, следовательно, режим фракционирования был еще и ускоренным, что позволяло ожидать усиления повреждения опухоли за счет опережения регенерации опухолевых клеток.

Группы больных были сравнимы по основным характеристикам (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Характеристика больных в группах паллиативной ДЛТ по распространенности РМП

Показатель		Группа 1 (ТФ)		Группа 2 (ГФ)		Группа 3 (УДФ)	
		абс.	%	абс.	%	абс.	%
Распространенность первичной опухоли (Т)	T ₁ *	—	—	3	13,6	3	9,7
	T ₂	3	8,1	1	4,5	4	12,9
	T ₃	24	64,9	9	40,9	11	35,5
	T ₄	6	16,2	6	27,3	7	22,6
	T _x	4	10,8	3	13,6	6	19,3
Поражение лимфатических узлов (N)	N ₁	5	13,5	2	9,1	2	6,5
	N ₂	2	5,4	—	—	7	22,6
	N ₃	—	—	—	—	2	6,5
Наличие отдаленных метастазов (M)	M ₁	8	21,6	3	13,6	6	19,4

Примечание:

* курс паллиативной ДЛТ проведен по поводу прогрессирования ранее леченного поверхностного рака (T₁) в инвазивные формы роста опухоли, с выраженными местными симптомами заболевания, при наличии противопоказаний к радикальным методам лечения

Таблица 2

Характеристика больных РМП в группах паллиативной ДЛТ в зависимости от размеров, характера роста опухоли и состояния функции почек

Показатель	Группа 1 (ТФ)		Группа 2 (ГФ)		Группа 3 (УДФ)	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Размеры опухоли ≥ 5 см	28	75,7	16	72,7	21	67,7
Мультицентричный рост	4	10,8	5	22,7	7	22,6
Функция почек нарушена	20	54,1	12	54,5	16	51,6

Одной из основных причин для начала проведения паллиативной ДЛТ у больных РМП была макрогематурия, частота встречаемости которой была сравнима у больных в трех исследуемых группах: в 1 группе (ТФ) — 73,0 %, во 2 (ГФ) — 72,7 %, в 3 (УДФ) — 77,4 % случаев. Анемия средне-тяжелой и тяжелой степени тяжести, обусловленная кровотечением из опухоли мочевого пузыря, выявлена в 1 группе — у пяти (13,5 %) больных, во 2-ой — у пяти (22,7 %), в 3 группе (УДФ) — у десяти (32,3 %) пациентов. Таким образом, больные РМП второй и, особенно, третьей группы чаще нуждались в оказании экстренной помощи, целью которой, прежде всего, являлось купирование кровотечения.

С учетом того, что соматический статус большинства пациентов во время проведения ДЛТ оценивался как тяжелый, параллельно лучевой терапии проводили лечение сопутствующих соматических заболеваний и осложнений основной болезни. Кроме того, трем (9,7 %) пациентам группы УДФ с метастазами в кости и выраженным болевым синдромом, была дополнительно проведена симптоматическая ДЛТ на

опухолевые очаги в костях скелета (в РОД 5 Гр, через день, 5 фракций до СОД 25 Гр), что позволило купировать болевой синдром у данных пациентов и увеличить эффективность проводимого паллиативного лечения РМП.

После завершения паллиативной лучевой терапии больные РМП оставались под динамическим наблюдением: контрольные осмотры проводили каждые три месяца в течение первых двух лет, на третьем году — через 6 месяцев, в последующем — ежегодно.

Необходимо отметить, что у трех больных (9,7 %) в группе УДФ через 2–3 нед перерыва после окончания паллиативного лечения курс ДЛТ был продолжен до радикального объема (СОД 60–64 Гр, 100–105 ед. ВДФ). Это стало возможным в результате достижения выраженного клинического эффекта, сопровождавшегося полным купированием гематурии и болевого синдрома на фоне удовлетворительной переносимости лучевого лечения, улучшении общего самочувствия и соматического статуса пациентов. Кроме того, вследствие выраженной (более 50 %) регрессии опухоли через 6–12 мес после завершения паллиативной ДЛТ у двух (5,4 %) больных первой группы, двух (9,1 %) пациентов второй группы и трех (9,7 %) больных третьей группы стало возможным выполнение трансуретральной резекции (ТУР) остаточной опухоли мочевого пузыря. У одного (2,7 %) пациента группы ТФ и у одного (4,5 %) больного группы ГФ ТУР была выполнена по жизненным показаниям на фоне удовлетворительного соматического статуса, в связи с возобновившимся кровотечением из опухоли через 5 и 7 мес соответственно, после проведения паллиативной ДЛТ. Одному (3,2 %) больному (в возрасте 40 лет) через 18 дней после окончания паллиативной ДЛТ по схеме УДФ и полного купирования гематурии при нормализации показателей крови была выполнена лапаротомия с отведением мочи по Брикеру. Впоследствии, через 3 мес, было проведено радикальное оперативное вмешательство в объеме цистэктомии.

Результаты и обсуждение

Наиболее клинически значимым симптомом у большинства (67) больных всей исследуемой группы являлась макрогематурия, которую не удавалось купировать до начала ДЛТ консервативными мероприятиями. В процессе проведения лучевого лечения купирование гематурии мы наблюдали у 49 (73,1 %) и ее уменьшение — у 18 (26,9 %) пациентов, причем общий терапевтический эффект паллиативного лечения в отношении гематурии был отмечен в 100 % случаев. Уменьшение болевого синдрома в области мочевого пузыря в процессе проведения ДЛТ отмечено у девяти (75,0 %) из 12 человек, усиление боли — у

одного (8,3 %) больного, а двое (16,7 %) пациентов не отметили динамики со стороны данного симптома по окончании лучевого лечения.

С целью оценки эффективности применявшихся режимов фракционирования по критерию достижения непосредственного эффекта был проведен сравнительный статистический анализ динамики изменений местных симптомов заболевания в трех исследуемых группах. При традиционном фракционировании дозы купирование гематурии наблюдали у 17 (63,0 %) из 27 пациентов с наличием данного симптома до начала ДЛТ, уменьшение — у десяти (37,0 %) пациентов. В группе гипофракционирования купирование гематурии отмечено у десяти (62,5 %) из 16 больных, уменьшение — у шести (37,5 %) пациентов. В то же время в группе УДФ полное исчезновение признаков макрогематурии в процессе лечения наблюдали у 22 (91,7 %) из 24 больных ($p < 0,05$ по отношению к группам ТФ и ГФ), а у двух (8,3 %) пациентов достигнуто значительное ее уменьшение по окончании курса ДЛТ.

У четырех из шести больных в группе ТФ отмечено уменьшение боли в области мочевого пузыря в процессе проведения ДЛТ, а двое пациентов не отметили какой-либо динамики со стороны данного симптома. Уменьшение болевого синдрома в группе ГФ отмечено у двух из трех больных, а у одного пациента — усиление боли в области мочевого пузыря в процессе ДЛТ. В группе УДФ уменьшение болевого синдрома отмечено у всех трех больных, предъявляющих жалобы на его наличие до начала лучевого лечения ($p < 0,1$ по отношению к группе ТФ). Таким образом, в процессе проведения паллиативной ДЛТ в режиме УДФ мы наблюдали лучший терапевтический эффект в отношении купирования гематурии и болевого синдрома, по сравнению с другими режимами фракционирования.

На протяжении первого года после завершения лучевой терапии динамическое наблюдение за больными проводили каждые 3 месяца. Анализ результатов паллиативной ДЛТ во всей группе больных ($n = 90$) представлен в табл. 3.

Таблица 3

Результаты паллиативной ДЛТ через 3, 6 и 12 месяцев после завершения лечения

Критерии (ВОЗ)	Периоды наблюдения после завершения ДЛТ					
	Через 3 мес		Через 6 мес		Через 12 мес	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Стабилизация	47	52,2	18	20,0	9	10,0
Частичная регрессия	17	18,9	28	31,1	21	23,3
Полная регрессия	—	—	3	3,3	7	7,8
Прогрессирование	26	28,9	41	45,6	53	58,9

Как следует из данных, представленных в табл. 3, через 12 мес после ДЛТ более чем у половины больных всей исследуемой группы (53/58,9 %) было отмечено прогрессирование заболевания, что вполне объяснимо с учетом распространенности РМП на момент постановки диагноза у большинства пациентов и величины СОД, подводимой на опухоль мочевого пузыря с паллиативной целью. Тем не менее, объективный ответ опухоли на проведенное лечение сохранялся у 28 (31,1 %) пациентов, а у семи (7,8 %) больных отмечена полная регрессия опухоли мочевого пузыря.

Динамика регрессии первичной опухоли на протяжении 12 месяцев после окончания ДЛТ в зависимости от примененного режима фракционирования представлена в табл. 4.

Таблица 4

Результаты паллиативной ДЛТ в зависимости от режима фракционирования дозы

Критерий (ВОЗ)	Группа 1 (ТФ)		Группа 2 (ГФ)		Группа 3 (УДФ)	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Через 3 месяца						
Стабилизация	18	48,6	11	50,0	18	58,0
Частичная регрессия	7	18,9	4	18,2	6	19,4
Полная регрессия	—	—	—	—	—	—
Прогрессирование	12	32,4	7	31,8	7	22,6
Через 6 месяцев						
Стабилизация	5	13,5	5	22,7	8	25,8
Частичная регрессия	8	21,6	7	31,8	13	41,9
Полная регрессия	1	2,7	—	—	2	6,5
Прогрессирование	23	62,2	10	45,5	8	25,8
Через 12 месяцев						
Стабилизация	3	8,1	3	13,6	3	9,7
Частичная регрессия	5	13,5	5	22,7	11	35,5
Полная регрессия	1	2,7	2	9,1	4	12,9
Прогрессирование	28	75,7	12	54,5	13	41,9

Представленные в табл. 4 данные демонстрируют определенное влияние, оказываемое режимом фракционирования на эффективность лучевой терапии в отношении первичной опухоли мочевого пузыря. В исследовании отмечено увеличение эффективности ДЛТ при использовании нетрадиционного фракционирования дозы. В частности, проведение паллиативной ДЛТ в режиме УДФ позволило достичь объективного ответа опухоли на лечение (через 6 мес) у 15 (48,4 %) больных, в группе ГФ — у 7 (31,8 %), в то время как при традиционном облучении — у 9 (24,3 %) пациентов; различия статистически значимы между группами УДФ и ТФ ($p < 0,05$). Через 12 месяцев после завершения ДЛТ в группах с нетрадиционным фракционированием объективный ответ опухоли на лече-

ние наблюдали в группе УДФ — у 15 (48,4 %) больных, в группе ГФ — у 7 (31,8 %) — против группы с традиционным фракционированием дозы — у 6 (16,2 %) пациентов ($p < 0,05$ по отношению к группе УДФ и $p < 0,2$ по отношению к группе ГФ). В группе с традиционным фракционированием через 12 месяцев после ДЛТ наблюдали большее число случаев прогрессирования заболевания — у 28 (75,7 %) больных, против 12 (54,5 %) в группе ГФ ($p < 0,1$) и 13 (41,9 %) пациентов группы УДФ ($p < 0,05$ по отношению к группе ТФ).

Были проанализированы и отдаленные результаты лечения больных РМП после проведения паллиативной ДЛТ. Актуаральная общая и скорректированная трехлетняя выживаемость 90 больных РМП составила $18,6 \pm 4,8 \%$ и $21,9 \pm 5,4 \%$, пятилетняя — $11,3 \pm 4,1 \%$ и $13,3 \pm 4,7 \%$ соответственно; медиана выживаемости составила $12,9 \pm 1,3$ мес.

В то же время, медиана выживаемости пациентов в группе с традиционным фракционированием дозы составила $12,0 \pm 1,6$ мес, гипофракционированием — $12,3 \pm 4,4$ мес, а в группе ускоренного динамического фракционирования дозы — $14,3 \pm 8,5$ мес.

Таким образом, результаты нашего исследования показали, что применение нетрадиционного фракционирования в паллиативном лечении больных РМП способствует повышению непосредственной эффективности лучевой терапии и улучшает качество жизни больных на фоне более чем двукратного сокращения продолжительности лечения. В ряде случаев создаются условия для перевода ранее запланированной паллиативной ДЛТ в терапию с радикальной целью, предоставляя пациентам шанс на достижение ремиссии заболевания. Кроме того, вследствие купирования местных симптомов заболевания и улучшения соматического статуса повышается качество жизни больных РМП, а для некоторых пациентов становится возможным проведение оперативного лечения.

Результаты, полученные в нашем исследовании, вполне согласуются с данными других авторов, сообщающих о высокой непосредственной эффективности паллиативной лучевой терапии у больных РМП [5, 7, 9]. В большинстве работ, посвященных данной проблеме, приведены результаты применения режимов гипофракционирования, которые существенно сокращают время лечения и предпочтительны при лучевой терапии с паллиативной целью. В то же время в ряде исследований отмечено увеличение числа осложнений при гипофракционированном облучении [10–13]. Так, McLaren D.B. et al. [10] при применении у 65 больных РМП режима гипофракционирования (с РОД 6 Гр, один раз в неделю, до СОД 30–36 Гр) сообщают о высокой непосредственной эффективности лечения — купировании гематурии в 92 % случаев, но отмечают при этом высокое число острых лучевых

реакций 3-й степени тяжести со стороны мочевого пузыря и кишечника — в 18 % и 9 % случаев соответственно. Holmang S. et al. [13] при использовании у 96 больных РМП режимов гипофракционирования (с РОД 7 Гр, 3 фракции, СОД 21 Гр и с РОД 5 Гр, 4 фракции, СОД 20 Гр), у 22 (22,9 %) пациентов отметили ранние осложнения ДЛТ, потребовавшие госпитализации, а у пяти (5,2 %) пожилых больных осложнения стали причиной смерти. Поэтому при проведении исследования мы уделяли большое внимание изучению частоты возникновения и степени тяжести лучевых реакций и осложнений, возникавших в процессе лечения и после его завершения.

В целом, проведенный анализ свидетельствовал о вполне удовлетворительной переносимости паллиативной лучевой терапии. Острые лучевые реакции со стороны мочевого пузыря наблюдали всего у 34 (37,8 %) пациентов в изучаемой группе ($n = 90$), при этом 1–2 степени тяжести (RTOG/EORTC) — у 29 (32,2 %) больных, 3–4 степени — у пяти (5,6 %) пациентов. Острые ректиты 1–2 степени были отмечены у восьми (8,9 %) больных. Поздние осложнения со стороны мочевого пузыря 1–2 степени тяжести наблюдали у 14 (15,6 %) пациентов, прямой кишки — у одного (1,1 %) больного в общей группе паллиативной лучевой терапии. Осложнений ≥ 3 степени отмечено не было.

Особое внимание мы обращали на частоту возникновения и степень тяжести лучевых реакций и осложнений в зависимости от применявшихся режимов фракционирования дозы. При проведении лучевой терапии в режиме УДФ с дроблением дневной дозы на две фракции мы наблюдали тенденцию к уменьшению числа острых лучевых циститов 1–2 степени тяжести, которые наблюдали в этой группе у шести (19,4 %) больных — против 14 (37,8 %) в группе конвенционального облучения и девяти (40,9 %) пациентов в группе гипофракционирования, $p < 0,1$. Проведение лучевой терапии в режиме ГФ сопровождалось развитием большего числа лучевых реакций 3–4 степени со стороны мочевого пузыря — у трех (13,6 %) пациентов, в сравнении с традиционным фракционированием, и у двух (5,4 %) больных ($p < 0,5$), которым из-за развития острой обструкции мочевого пузыря потребовалось хирургическое вмешательство (эпистомия). В то же время острых лучевых реакций 3–4 степени тяжести в группе УДФ отмечено не было. Кроме того, в группе с гипофракционированием дозы отмечено большее число острых лучевых ректитов — у трех (13,6 %) пациентов по сравнению с группами ТФ и УДФ — у трех (8,1 %) и двух (6,5 %) больных соответственно.

Вместе с тем частота развития острых реакций не ассоциировалась с числом поздних осложнений лу-

чевого лечения. Поздние циститы 1–2 степени тяжести наблюдали у семи (18,9 %) больных группы ТФ и четырех (18,2 %) группы ГФ, в то время как в группе УДФ — у трех (9,7 %) пациентов ($p < 0,2$ по отношению к группе традиционного фракционирования). В целом отмечена удовлетворительная переносимость больными паллиативного курса ДЛТ в режиме ускоренного динамического фракционирования, — при проведении лечения по данной методике наблюдали меньшее количество как ранних, так и поздних осложнений ДЛТ по сравнению с другими режимами фракционирования паллиативной лучевой терапии.

Таким образом, изучена эффективность паллиативной лучевой терапии у 90 больных РМП, имеющих противопоказания к проведению радикального лечения, а также выполнению хирургического вмешательства и химиотерапии. При сравнительном анализе непосредственных и отдаленных результатов ДЛТ с применением трех режимов фракционирования дозы установлено, что наиболее благоприятное соотношение по критерию эффективность/токсичность продемонстрировала методика ускоренного динамического фракционирования дозы, позволяющая в короткие сроки достигать основной цели паллиативного лечения при снижении частоты развития его осложнений.

Выводы

Дистанционная лучевая терапия является эффективным методом паллиативной помощи больным РМП, позволяющая купировать гематурию и болевой синдром в 73,1 % и 75,0 % случаев соответственно. Медиана выживаемости после проведения паллиативного лечения составила $12,9 \pm 1,3$ мес.

В ряде клинических случаев эффект, полученный при проведении паллиативной ДЛТ, позволил продолжить лечение больных РМП до радикального объема.

Разработанный и апробированный в клинике режим ускоренного динамического фракционирования (УДФ) позволил улучшить результативность паллиативной помощи больным РМП. Эффективность УДФ в отношении купирования гематурии составила 91,7 % против 63,0 % при конвенциональном облучении ($p < 0,05$). При этом продолжительность лечения и сроки достижения клинического эффекта сократились в три раза без увеличения числа осложнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Petrovich Z., Stein J.P., Jozsef G., Formenti S.C. Bladder. // In: «Principles and Practice of Radiation Oncology 5th ed». Ed. by C.A. Perez, L.W. Brady, E.D. Halperin. —Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008, P. 1412–1438.
2. Griffiths T.R. Current perspectives in bladder cancer management. // Int. J. Clin. Pract., 2013, **67**, No. 5, P. 435–448.
3. Бойко А.В., Дарьялова С.Л., Черниченко А.В., Боcharова И.А. Лучевая терапия. // В кн. «Онкология: национальное руководство». Под ред. В.И. Чиссова, М.И. Давыдова. —М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008, С. 394–437.
4. Salminen E.L. Inconventional fractionation for palliative radiotherapy of urinary bladder cancer. A retrospective review of 94 patients. // Acta. Oncol., 1992, **31**, No. 4, P. 449–454.
5. Duchesne G.M., Bolger J.J., Griffiths G.O. et al. A randomized trial of hypofractionated schedules of palliative radiotherapy in the management of bladder carcinoma: results of medical research council trial BA09. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 2000, **47**, No. 2, P. 379–388.
6. Lutz S.T., Chow E.L., Hartsell W.F. et al. A review of hypofractionated palliative radiotherapy. // Cancer, 2007, **109**, No. 8, P. 1462–1470.
7. Rasool M.T., Manzoor N.A., Mustafa S.A. et al. Hypofractionated radiotherapy as local hemostatic agent in advanced cancer. // Indian J. Palliat. Care, 2011, **17**, No. 3, P. 219–221.
8. Caravatta L., Padula G.D., Macchia G. et al. Short-course accelerated radiotherapy in palliative treatment of advanced pelvis malignancies: a phase I study. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 2012, **83**, No. 5, P. 627–631.
9. Kouloulis V., Tolia M., Kolliarakis N. et al. Evaluation of acute toxicity and symptoms palliation in a hypofractionated weekly schedule of external radiotherapy for elderly patients with muscular invasive bladder cancer. // Int. Braz. J. Urol., 2013, **39**, No.1, P. 77–82.
10. McLaren D.B., Morrey D., Mason M.D. Hypofractionated radiotherapy for muscle invasive bladder cancer in the elderly. // Radiother. Oncol., 1997, **43**, No. 2, P. 171–174.
11. Jose C.C., Price A., Norman A. et al. Hypofractionated radiotherapy for patients with carcinoma of the bladder. // J. Clin. Oncol. (R. Coll. Radiol.), 1999, **11**, No. 5, P. 330–333.

12. *Wijkstrom H., Naslund I., Ekman P. et al.* Short-term radiotherapy as palliative treatment in patients with transitional cell bladder cancer. // *Brit. J. Urol.*, 1991, **67**, No.1, P. 74–78.
13. *Holmang S., Borghede G.* Early complications and survival following short-term palliative radiotherapy in invasive bladder carcinoma. // *J. Urol.*, 1996, **155**, No. 1, P. 100–102.
14. *Иванов В.К.* Математическое моделирование и оптимизация лучевой терапии опухолей. — М.: Энергоатомиздат, 1986, 145 с.
15. *Мардынский Ю.С., Гуменецкая Ю.В., Карякин О.Б., Гулидов И.А.* Возможности паллиативной лучевой терапии у больных раком мочевого пузыря. // *Онкоурология*, 2007, № 1, С. 40–43.

Поступила: 15.05.2013

Принята к публикации: 11.02.2014



Гуме́нецкая Юлия Васи́льевна – ведущий научный сотрудник отделения дистанционной лучевой терапии Медицинского радиологического научного центра Минздрава РФ, кандидат медицинских наук, врач-радиолог высшей категории, член Российской ассоциации терапевтических радиационных онкологов (РАТРО), Российского общества онкоурологов (РООУ), Европейской ассоциации радиационных терапевтических онкологов (ESTRO). Результаты научно-практической деятельности Гуме́нецкой Ю.В. отражены в 88 печатных работах, среди них – 19 статей в ведущих рецензируемых журналах, две главы в монографиях. Разработаны три новые медицинские технологии, на клиническое применение которых получено разрешение от Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития. Результаты работы неоднократно были доложены и обсуждены на съездах, конгрессах и конференциях, посвященных проблемам радиологии онкологии и онкоурологии.

**Г.Е. Кодина, В.Н. Корсунский, О.Е. Клементьева, А.О. Малышева,
М.В. Жукова, Н.А. Таратоненкова**

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ
СУСПЕНЗИИ НА ОСНОВЕ ^{188}Re КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО
РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ
РАДИОСИНОВЭКТОМИИ**

**G.E. Kodina, V.N. Korsunsky, O.E. Klementyeva, A.O. Malysheva,
M.V. Zhukova, N.A. Taratonenkova**

**Preliminary Biological Evaluation of ^{188}Re -Sn Suspension as Promising
Radiopharmaceutical for Radiosynovectomy**

СОДЕРЖАНИЕ

Цель: На экспериментальной модели суставной патологии изучить биологическое поведение суспензии на основе ^{188}Re как потенциального радиофармацевтического препарата для радиосиновиэктомии.

Материал и методы: Для изучения динамики распределения суспензии на основе ^{188}Re -Sn методом прямой радиометрии использовали крыс с экспериментальным острым асептическим синовитом коленного сустава. Исследование распределения препарата методом ОФЭКТ/КТ проведено на кроликах с экспериментальным острым асептическим синовитом коленного сустава.

Результаты: Была успешно синтезирована суспензия на основе ^{188}Re -Sn, которую достаточно просто приготовить в любом отделении радионуклидной диагностики или централизованно с использованием радионуклидного генератора $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$. Суспензия устойчива в течение 3 сут. Около 90 % частиц имеет диаметр меньше 9,3 мкм. После внутрисуставного введения крысам ^{188}Re -Sn-коллоид остается фиксированным в коленном суставе на протяжении 72 ч, не перераспределяясь в организме. Результаты ОФЭКТ/КТ-исследований на кроликах подтвердили отсутствие выведения препарата из места введения. Синтезированная суспензия может стать перспективным препаратом для радиосиновиэктомии.

Ключевые слова: рений-188, суспензия, острый синовит, экспериментальная модель, радиосиновиэктомия

CONTENT

Purpose: To study the biological behavior of Rhenium-188 suspension as potential radiopharmaceutical for radiosynovectomy on experimental model of joint pathology.

Material and methods: The dynamic behavior of ^{188}Re -Sn suspension was studied in rats with experimental acute aseptic synovitis of knee joint by direct radiometry. The biological behavior of radiopharmaceutical with SPECT/CT was carried out on rabbits with experimental acute aseptic synovitis of knee joint.

Results: We successfully synthesized ^{188}Re -Sn suspension, which can be prepared in the special radiopharmaceutical departments and supplied in clinics according to their demand. This suspension is stable more than 3 days after its preparation. About 90 % of particles in the synthesized suspension were of lower than 9.3 μm . It was found that ^{188}Re -Sn suspension was fixed in knee joint during 72 h post intraarticular injection in rats without redistribution. The SPECT/CT results confirmed the absence of radiopharmaceutical leakage from the injection site. Synthesized suspension could be prospective means for radiosynovectomy.

Key words: rhenium-18, suspension, acute synovitis, experimental model, radiosynovectomy

Введение

Различные заболевания суставов, такие как ревматоидный артрит, остеоартроз, villonodularный синовит, гемофильная артропатия, псориатический артрит, болезнь Бехтерева и подагра являются причиной длительного и интенсивного болевого синдрома, деформации суставов и практически неизбежной инвалидности, сопровождающейся существенным снижением качества жизни пациентов.

Традиционная терапия различными комбинациями препаратов может принести облегчение во многих случаях. Для лечения используют нестероидные противовоспалительные средства, стероиды, агенты, вызывающие ремиссию (метотрексат, соли золота,

пеницилламин, низкие дозы антимагнетов, сульфасалазин и фактор некроза опухоли- α -блокатор) [1]. Следует, однако, отметить, что долгосрочная системная терапия в ряде случаев не дает желаемого эффекта, а значительные побочные эффекты вынуждают прекратить лечение и искать альтернативные методы медицинской помощи. Хирургическое вмешательство является последним доступным инструментом после того, как не удалось достигнуть положительных результатов проведением фармакологической терапии. Но даже восстановление всех тканей достигается не часто и через 3–5 лет наступает рецидив [2].

Эффективную альтернативу традиционным методам лечения представляет радиосиновиэктомия —

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

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

метод радионуклидной терапии, заключающийся во внутрисуставном введении радиофармпрепарата (РФП), содержащего радионуклиды с высокой энергией бета-излучения (например ^{198}Au , ^{90}Y , ^{32}P , ^{169}Er , ^{166}Ho , ^{186}Re , ^{188}Re и др.). Принцип терапевтического действия радионуклида основан на воздействии β -частиц на синовиальную оболочку сустава. Введенный препарат захватывается путем фагоцитоза клетками поверхностного эпителия синовиальной оболочки, оказывая тем самым повреждающее действие. За счет местного облучения ткани воспаленной синовиальной оболочки сустава в ней вызывается процесс абляции, т.е. гибели функционально активных клеток, ответственных за поддержание воспаления. Авторадиографические исследования показывают, что коллоиды радионуклида быстро проникают в поверхностные слои, а также в некоторой степени в более глубокие слои оболочки, но не достигают кости [3]. Вследствие селективного облучения синовиальной оболочки происходит некроз клеток и уменьшение воспаления. Артроскопическое исследование показывает сокращение числа и размеров синовиальных ворсинок и уменьшение переполненности кровью сосудов оболочки [4]. Далее происходит прогрессирующее уплотнение соединительной ткани синовиальной оболочки, сосудов и редко — повреждение костей сустава. Через несколько месяцев происходит полное подавление скопления моноцитов и лимфоцитов в синовиальной оболочке [5–7]. Дальнейшее разрушение полости сустава не происходит. После замены фиброзной ткани синовиальная оболочка не реагирует на иммунологическую стимуляцию, достигается отсутствие рецидива воспалительного процесса и длительный срок ремиссии. Клинически, в случаях положительного результата, определяется снижение болей и проявлений активного воспаления.

Радиосиновэктомия по эффективности сопоставима с хирургическим вмешательством (72,6 % и 75,2 % положительных результатов соответственно), однако она менее травматична и опасна, значительно проще в выполнении и не требует сложных и длительных послеоперационных реабилитационных мероприятий.

К радиофармпрепаратам, предназначенным для радиосиновэктомии, предъявляются определенные требования [8]. Это должны быть коллоиды или микродисперсные суспензии, меченные бета-излучающими радионуклидами. Размеры меченых частиц должны быть достаточно малы (2–10 мкм), чтобы частица могла быть фагоцитирована макрофагами, но не настолько малы (<2 мкм), чтобы способствовать быстрому биологическому выведению из сустава за счет диффузии. Частицы с размерами менее 2 мкм выводятся из сустава в течение первых 12 часов. Связь

между радионуклидом и коллоидной частицей должна быть достаточно прочной в течение всего курса радиосиновэктомии, который определяется периодом полураспада радионуклида. Меченные радионуклидом коллоидные частицы должны гомогенно распределяться во внутрисуставном пространстве, не вызывая воспалительную реакцию.

Радионуклидом выбора для радиосиновэктомии суставов крупного и среднего размера является рений-188. Период полураспада ^{188}Re (17 ч), максимальная энергия β -излучения (2,12 МэВ), максимальный пробег в мягких тканях и водной среде (10 мм), а также значение ЛПЭ (0,19 кЭВ/мкм [9]) достаточны с точки зрения получения соответствующего терапевтического эффекта и действия радиофармпрепарата. Кроме того, наличие как β^- , так и γ -составляющей (0,155 МэВ) излучения позволяет, наряду с терапевтическим эффектом, получать информацию о распределении препарата в организме пациента с помощью гамма-камеры, однофотонного компьютерного томографа (ОФЭКТ) или совмещенного с рентгеновским ОФЭКТ/КТ. Несомненным достоинством ^{188}Re является возможность его получения в клинических условиях из $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ радионуклидного генератора.

Материал и методы

Приготовление суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$ и ее аналитические характеристики. Изученный препарат был приготовлен следующим способом. Во флакон, содержащий 20 мг олова дихлорида дигидрата в 0,1 М растворе HCl, вводили требуемое количество раствора перрената натрия, ^{188}Re с заданной активностью и 20 % раствор Твин 80. Реакционную смесь перемешивали с помощью шейкера типа Вортекс и инкубировали при комнатной температуре. Затем во флакон добавляли необходимое количество буферного агента до достижения нейтральных значений pH смеси. Полученный РФП представляет собой молочно-белую суспензию.

Перед введением животным суспензию тщательно перемешивали, избегая вспенивания.

Радиохимическую чистоту (РХЧ) реакционной смеси определяли методом восходящей хроматографии на бумаге Whatman 1. Подвижная фаза — 0,9 % раствор NaCl.

Определение размеров коллоидных частиц (динамический диаметр) проводили на приборе NICOMPTM 380 ZLS. Перед измерением суспензию разбавляли в 10 раз дистиллированной водой.

Результаты анализа образцов РФП, которые были использованы в экспериментах, представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты анализа суспензии
на основе $^{188}\text{Re-Sn}$**

Параметры	Значения параметров	Тест-система, исследование
Активность препарата, МБк/мл	92,9	Кролики с модельной патологией ОФЭКТ/КТ
pH	5,0	
РХЧ, %	98,9	
Средний диаметр частиц, мкм	5,1	
Введенный объем, мл	2×0,3	
Активность препарата, МБк/мл	59,2	Крысы с модельной патологией Изучение фармакокинетики методом прямой радиометрии
pH	2,4	
РХЧ, %	94,8	
Средний диаметр частиц, мкм	7,1	
Введенный объем, мл	0,05	

Моделирование суставной патологии. В качестве модели суставной патологии был выбран острый асептический синовит. Моделирование осуществляли по методике М.С. Борисова [10] с нашей модификацией, которая предусматривает два различных подхода к работе с кроликами и крысами.

Моделирование асептического синовита у кроликов. Кроликов фиксировали в боковом лежачем положении таким образом, чтобы пунктируемый сустав находился сверху. Область введения иглы выбирвали, кожу обрабатывали этиловым спиртом с дальнейшей двукратной обработкой 5 %-ным раствором йода. Место инъекции пальпировали пальцем левой руки и проводили пункцию у медиального края связки коленной чашечки примерно посередине между коленной чашечкой и местом прикрепления к большеберцовой шероховатости. При введении инъекционной иглы в большеберцовый сустав из конюли начинала стекать синовиальная жидкость, которую дополнительно аспирировали шприцем. В полость сустава вводили скипидар однократно в дозе 0,5–0,6 мл, после чего проводили 5–6 пассивных движений конечностью. Ко 2–3 дню после введения раздражающего раствора у животных развивался острый асептический синовит коленного сустава.

Моделирование асептического синовита у крыс. Крыс фиксировали корнцангом на спине, придерживали левую конечность, пальпировали коленную чашечку и фиксировали ее. В полость сустава непосредственно под коленную чашечку вводили скипидар однократно в дозе 0,2–0,3 мл, после чего проводили 5–6 пассивных движений конечностью. Ко 2–3 дню после введения раздражающего раствора у крыс развивался острый асептический синовит коленного сустава.

Изучение распределения препарата у крыс методом прямой радиометрии. Исследование проводили на беспородных белых крысах как интактных, так и

с моделью суставной патологии. Исследуемый препарат вводили в коленный сустав в объеме 0,05 мл. Через 3, 24, 72 ч после инъекции животных забивали частичной декапитацией, предварительно усыпив эфиром, отбирали пробы крови и органы: легкие, почки, печень, желудок, селезенку, интактный сустав, место введения. Накопление в наполненном мочевом пузыре определяли только через 3 ч после введения препарата. Мочевыделение прекращали путем наложения лигатуры на мочеиспускательный канал крысы. На каждую временную точку брали по 6 животных. Содержание радионуклида в органах и тканях определяли методом прямой радиометрии на автоматическом гамма-счетчике Wizard 2480 (PerkinElmer, USA)

Исследование распределения препарата методом ОФЭКТ/КТ. Препарат с объемной активностью 92,9 МБк/мл вводили в коленный сустав кролика двумя порциями по 0,3 мл. Внутрисуставная инъекция осуществлялась стерильной иглой 16G под середину надколенника с двух сторон сустава. Перед введением препарата удаляли примерно 0,2 мл экссудата. После инъекции в течение пяти минут коленный сустав удерживали в неподвижности, затем совершали несколько сгибательно-разгибательных движений. Затем животное помещали в клетку, ограничивающую движение.

Распределение препарата в организме животных исследовали методом ОФЭКТ/КТ через 24 и 72 ч после введения препарата. Исследование было проведено с помощью клинического ОФЭКТ/КТ сканера Philips Precedence. Получены совмещенные ОФЭКТ/КТ-изображения с толщиной среза 1 мм. Обработка изображений проводилась с помощью программного обеспечения Phillips – Brilliance и Jet Stream.

Во время экспериментов животных содержали в стандартных условиях (специальное помещение, рекомендованный рацион, свободный доступ к питьевой воде, естественное освещение). Все процедуры, связанные с умерщвлением животных, выполняли согласно соответствующим методическим рекомендациям [11]. Все манипуляции с живыми тест-системами проведены в соответствии с европейской конвенцией по их защите, изложенной в директиве Европейского сообщества (86/609/ЕС) [12].

Результаты и обсуждение

Оценка адекватности полученной модели была проведена по поведенческим реакциям животных, макроскопической картине на вскрытии и данным рентгеновской компьютерной томографии.

В процессе развития острого синовита животные испытывали явный дискомфорт, который выражался

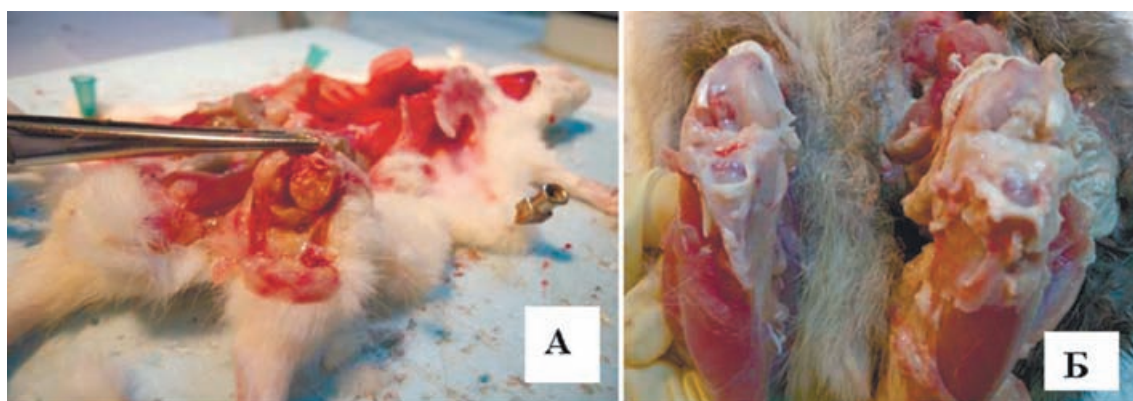


Рис. 1. Макроскопическая картина острого асептического синовита у крысы (А) и кролика (Б)

в ограничении использования пораженной конечности при движении. При пальпации пораженного участка у крыс наблюдалась вокализация, свидетельствующая об острых болевых ощущениях. Отмечалось скопление экссудата в суставе после введения скипидара, умеренный отек гиалинового хряща.

У кроликов коленный сустав увеличен в объеме, контуры его сглажены. Определяется гипертермия, выраженная болезненность при пальпации. Отмечены разрушение связочного аппарата и деструкция костных структур. Макроскопические картины развившегося асептического синовита у лабораторных животных представлены на рис. 1.

Данные фармакокинетики препарата, полученные на крысах в норме приведены в табл. 2.

Полученные данные подтверждают точность введения препарата в коленный сустав. После введения крысам суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$ препарат оста-

ется фиксированным в коленном суставе на протяжении 72 ч. Незначительное накопление активности в нецелевых органах объясняется присутствием в препарате следовых количеств примеси перренат-ионов, не связанных с частицами суспензии. Относительное увеличение накопления препарата в месте введения свидетельствует об отсутствии его выведения и перераспределения в организме.

Для того чтобы ответить на вопрос влияния состояния поврежденного сустава на биологическое поведение введенного в него радиофармпрепарата, была изучена фармакокинетика РФП на крысах с моделью суставной патологии. Результаты, полученные в эксперименте, приведены в табл. 3.

Показателем функциональной пригодности исследуемого РФП является его длительная фиксация в месте введения (суставе) и практическое отсутствие накопления в других органах. Аккумуляция РФП в

Таблица 2

Распределение суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$ в органах крыс в норме, % от суммарной активности всех органов животного

Органы/Ткани	Время после введения, ч		
	3	24	72
Кровь, 1 мл	$0,19 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,04$
Легкие	$0,11 \pm 0,03$	$0,05 \pm 0,02$	$0,01 \pm 0,01$
Желудок	$2,10 \pm 0,30$	$2,15 \pm 0,15$	$0,17 \pm 0,01$
Печень	$0,92 \pm 0,06$	$0,46 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,01$
Почки	$3,32 \pm 0,21$	$1,25 \pm 0,08$	$0,64 \pm 0,04$
Селезенка	$0,37 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$
Мочевой пузырь	$0,44 \pm 0,01$	—	—
Мышца, 1 г	$0,03 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$
Место введения (коленный сустав)	$89,1 \pm 3,19$	$94,7 \pm 2,15$	$98,1 \pm 1,20$

Таблица 3

Распределение суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$ в органах крыс с модельной патологией, % от суммарной активности всех органов животного

Ткани/органы	Время после введения, ч		
	3	24	72
Кровь, 1 мл	$0,28 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,03$	$0,01 \pm 0,01$
Легкие	$0,11 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$
Желудок	$1,42 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,01$
Печень	$5,93 \pm 0,41$	$1,49 \pm 0,10$	$0,88 \pm 0,06$
Почки	$3,65 \pm 0,25$	$1,42 \pm 0,09$	$0,34 \pm 0,02$
Селезенка	$0,29 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$
Мочевой пузырь	$9,20 \pm 0,64$	—	—
Мышца, 1 г	$0,02 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,00$
Место введения			
Сустав с патологией	$85,6 \pm 7,3$	$95,6 \pm 8,0$	$98,7 \pm 5,8$
Сустав нормальный	$0,04 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,00$

месте введения через 3, 24 и 72 часа составляла соответственно 85,6; 95,6 и 98,7 % от всей активности, распределенной в организме. В других органах РФП в значимых количествах не накапливается. Полученные результаты показывают, что с развитием патологии характер поведения РФП в организме не меняется. Снижение с течением времени уровня наблюдаемой активности в других органах животного подтверждает практически полное отсутствие выхода меченой суспензии из места введения и ее радиохимическую стабильность.

Результаты ОФЭКТ/КТ-исследования накопления и распределения суспензии, меченой рением-188, в организме кроликов с модельной патологией отражены на рис. 2 и 3.

Как видно из приведенных изображений, через 24 и 72 ч после введения суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$, более 95 % от введенной активности фиксировано в месте ее введения. Препарат не перераспределяется в организме.

Следует отметить хорошую переносимость введения препарата животными. В последующие пять суток наблюдения не отмечено местной реакции, из-

менений поведения и двигательной активности здоровых животных.

Оценку терапевтического эффекта суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$ проводили путем наблюдения за состоянием кроликов с модельной патологией на протяжении 7 сут после введения. Наблюдался эффект обезболивания, что выражалось в активном использовании пораженной конечности при движении животных.

Выводы

1. Разработана методика синтеза суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$ с оптимальным размером частиц 2–10 мкм.
2. Суспензия стабильна более 3 суток после ее приготовления.
3. Частицы суспензии на основе $^{188}\text{Re-Sn}$ остаются в месте введения в течение, по крайней мере, 72 ч, что достаточно для подведения терапевтической дозы бета-излучения к патологическому очагу.
4. Синтезированная суспензия является перспективным средством для радиосиноэктомии.

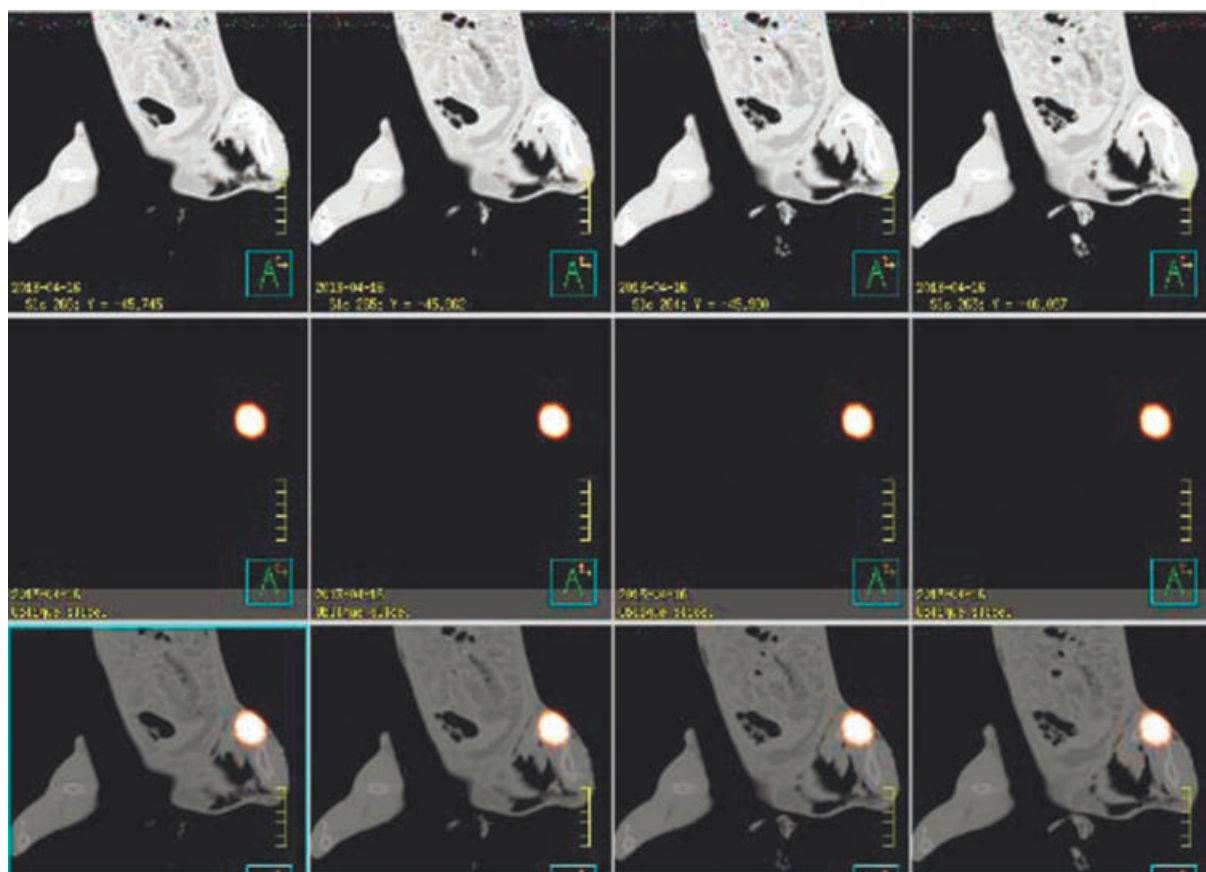


Рис. 2. ОФЭКТ/КТ исследование через 24 ч после введения препарата, аксиальная проекция

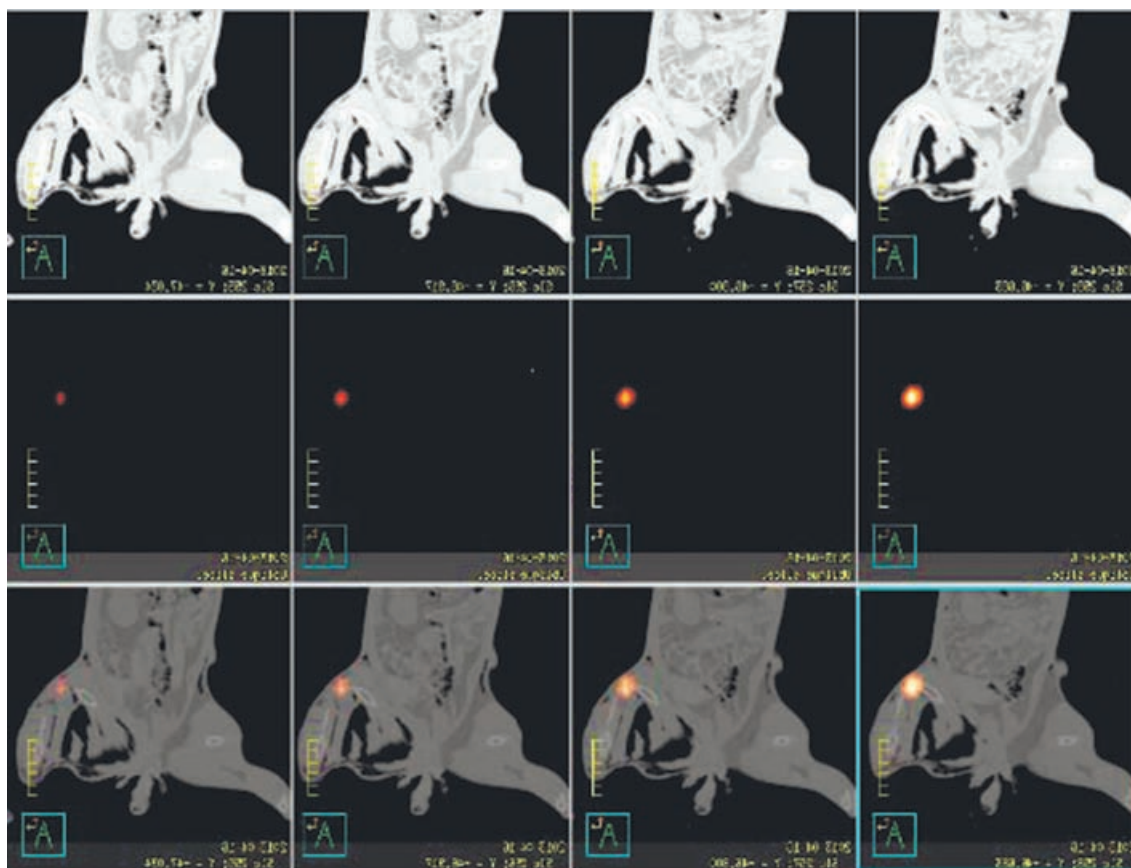


Рис. 3. ОФЭКТ/КТ исследование через 72 ч после введения препарата, аксиальная проекция

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zink A., Listing J., Ziemer S., Zeidler H. Practice variation in the treatment of rheumatoid arthritis among German rheumatologists. // J. Rheumatol., 2001, **28**, P. 2201–2208.
2. Shortkroff S., Sledge C.B. Radiation synovectomy. // In Principles of Nuclear Medicine. 2nd Ed., Philadelphia, WB Saunders Co, 1995, P. 1021–1028.
3. Davis M.A., Chinol M. Radiopharmaceuticals for radiation synovectomy: evaluation of two yttrium-90 particulate agent. // J. Nucl. Med., 1989, **30**, P.1047–1055.
4. Игнатьев В.К. Лечение ревматоидного артрита путем внутрисуставного введения золота-198. // Клиническая медицина, 1974, № 8, С. 52–55.
5. Игнатьев В.К. Локальная терапия больных ревматоидным артритом. // В сб.: «Вопросы теоретической и практической иммунологии». — Петрозаводск, 1985, С. 84–87.
6. Крылов В.В. Ультразвуковая томография, артропневмография и радионуклидные методы исследования в диагностике и оценке результатов радиосиновиортеза при ревматоидном гоните. Автореф. дисс. канд. мед. наук, Обнинск, 1991.
7. Крылов В.В., Цыб А.Ф., Дроздовский Б.Я. Радионуклидная терапия в паллиативном лечении больных с метастазами в кости. // Паллиативная медицина и реабилитация, 2005, № 3, С. 45–57.
8. Schneider P., Farahati J., Reiners C. Radiosynovectomy in Rheumatology, Orthopedics, and Hemophilia.// J. Nucl. Med., 2005, **46**, No. 1, Suppl. P. 48S–54S.
9. Freudenberg R., Andreeff M., Oehme L., Kotzerke J. Dosimetry of cell-monolayers in multiwell plates. // Nuklearmedizin Schattauer, 2009, No. 3, P. 120–126.
10. Борисов М.С. Диагностика, лечение, профилактика закрытых и открытых повреждений суставов и сухожилий у животных. Дисс. докт. ветеринарных наук, Москва, 2001, 345 с.

11. Эвтаназия экспериментальных животных. Методические рекомендации. — М., 1985.
12. Извлечение из «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для

экспериментальных и других научных целей». ЕЭС, Страсбург. // Ланималогия, 1993, № 1, С. 29.

Поступила: 19.09.2013

Принята к публикации: 11.02.2014

Авторский коллектив — сотрудники отдела радиационных технологий медицинского назначения ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, который в течение всего периода становления и развития ядерной медицины и радиофармацевтики в России выполняет полный цикл работ в области поиска, создания технологии, внедрения в производство и организации клинического применения радиофармпрепаратов диагностического и терапевтического назначения. За период деятельности отдела создано более 30 уникальных радиофармацевтических и других препаратов, большинство которых защищено патентами Российской Федерации и используется во всех отделениях ядерной медицины России в настоящее время, опубликовано несколько сотен научных работ, более 10 монографий, защищено 4 докторских и 15 кандидатских диссертаций.

Сотрудники Отдела принимали участие в нескольких зарубежных проектах по созданию производства РФП (Ливия, Сирия, Куба и др.). В отделе № 8 имеется многолетний опыт участия в координационных программах, экспертных миссиях и семинарах МАГАТЭ в области приготовления, контроля качества и применения радиофармпрепаратов.



Авторский коллектив (слева направо)

Жукова М.В.

Малышева А.О.

Клементьева О.Е.

Кодина Г.Е.

Таратоненкова Н.А.

Корсунский В.Н.

В.С. Калистратова, О.А. Кочетков, Д.И. Кабанов

МЕТАБОЛИЗМ И БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СОЕДИНЕНИЙ ТРИТИЯ (ИСТОРИЯ ВОПРОСА И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ)

V.S. Kalistratova, O.A. Kochetkov, D.I. Kabanov

Metabolism and Biological Activity of the Tritium Compounds (History and Current State of Problem)

РЕФЕРАТ

Цель: Анализ современного состояния проблемы биологического действия трития и его соединений.

Результаты: Систематизированы литературные данные и материалы собственных исследований по кинетике обмена, биологическому действию оксида трития, газообразного трития, соединений, меченных тритием, органически связанного трития (ОСТ), полученных в эксперименте на животных. Большое внимание уделено новым данным по ОБЭ оксида трития, оценке биологической эффективности органически связанных соединений трития.

Вывод: Сделан вывод о необходимости расширения исследований по биологическому действию ОСТ в связи с ограниченностью научных сведений, необходимых для нормирования этого соединения.

Ключевые слова: тритий, соединения трития, биологическое действие, кинетика, относительная биологическая эффективность

ABSTRACT

Purpose: Analysis of the current state of the problem of biological action of tritium and its compounds.

Results: The published data and materials of their own studies on the kinetics of metabolism, biological effects of tritium oxide, tritium gas, tritium-labeled compounds, organically bound tritium obtained in experiments on animals. Much attention is given to new data on the RBE of tritium oxide, evaluation of the biological effectiveness of organically bound tritium compounds.

Conclusion: It is concluded that the need to increase research on biological effects of organically bound tritium, due to the limited scientific data required for the valuation of the compound.

Key words: tritium, organically bounds tritium, biological effects, the kinetics, the relative biological effectiveness

Введение

Тритий — радиоактивный изотоп биогенного элемента водорода (^3H). При поступлении в организм он относительно равномерно распределяется по всем органам и тканям. Обладая политропным воздействием на организм и ткани организма, тритий является значительно более токсичным радионуклидом по сравнению с другими гамма- и бета-излучателями (^{137}Cs , ^{106}Ru). По данным НКДАР ООН от 1988 г., тритий отнесен к числу семи наиболее опасных радионуклидов, таких как цезий-137, углерод-14, фосфор-32, радий-226, плутоний-239, америций-241.

Бесцветный газ, атомная масса — 3,01605. Тритий — чистый низкоэнергетический β -излучатель. Средняя энергия бета-излучения 5,8 кэВ; максимальная энергия излучения 18,5 кэВ. Ядро трития состоит из одного протона и двух нейтронов. Средний пробег β -частиц в ткани 1 мкм, средняя плотность ионизации в воздухе 1900 пар ионов. Одна β -частица в воздухе образует 162 пары ионов. Период полураспада

12,3 года. На полный распад требуется больше 120 лет [1].

Тритий бывает как природного — космогенного, так и техногенного происхождения [2]. Космогенный тритий образуется в верхних слоях атмосферы путем взаимодействия нейтронов вторичного космического излучения с ядрами атомов азота или при расщеплении ядер различных элементов космическими лучами большой энергии. Все это превращается в тритированную воду, которая участвует в водном цикле. Концентрация в поверхностной континентальной воде и океане составляет 400 Бк/м³ и 100 Бк/м³ соответственно. Человек в среднем получает около 500 Бк трития каждый год, в результате средняя годовая эффективная доза от него составляет около 0,1 мкЗв.

Тритий образуется также в результате термоядерных реакций, осуществляемых при взрывах водородных бомб. Испытания взрывных устройств на основе термоядерного синтеза были начаты в 1952 г. В течение следующего десятилетия до прекращения испытаний ядерного оружия в атмосфере было про-

ведено около 350 взрывов с суммарной мощностью до 700 Мт тротилового эквивалента. Значительная часть веществ оказалась в стратосфере. С 1945 по 1980 гг. ядерные реакторы выбросили в атмосферу около 186 000 ПБк. Кроме поступления глобального трития в окружающую среду, могут возникнуть локальные загрязнения. С 1998 по 2002 гг. содержание глобального трития в атмосфере и воде составило 2×10^{-2} ПБк и $6,8 \times 10^{-4}$ ПБк соответственно. Коллективная доза за этот период времени составила $4,1 \times 10^{-2}$ и $4,4 \times 10^{-4}$ чел $\times$ Зв [3].

В производственных условиях тритий может находиться в трех состояниях: газообразном (НТ, ДТ, Т₂), жидком (НТО, ДТО, Т₂О, ОСТ, тритиевая смазка и т.п.) и твердом (LiT, TiT₂, ZrT₂, UT₃, светосоставы, органические соединения и т.п.) [4].

В промышленных условиях тритий получают путем облучения лития тепловыми нейтронами по реакции ${}^6_3\text{Li} + n^1_0 = {}^3_1\text{T} + {}^4_2\text{He}$. В реакторах облучают соль лития – фторид лития или сплавы лития с магнием, из которых легко выделяется тритий [5].

Особенностью трития является способность вступать в реакцию изотопного обмена в молекулах различных органических и неорганических соединений. К числу важнейших характеристик трития относится способность окисления его в обычных условиях. Кинетика процесса превращения в оксид зависит от исходной концентрации трития, состава газовой смеси, степени влажности воздуха, наличия катализаторов и др.

Тритий вступает в химические реакции с кислородом, галогенами и взаимодействует с рядом металлов, образуя оксид (окись) трития и тритиды металлов.

Газообразный тритий активно реагирует со многими маслами, смазками, каучуком и легко сорбируется различными материалами. Технологическое оборудование, коммуникации и другое, изготовленные из таких металлов как сталь, медь, никель, а также техническое масло вакуумных насосов в результате десорбции трития могут являться вторичными источниками загрязнения тритием воздушной среды рабочих помещений.

С 1998 по 2002 гг. глобальные среднегодовые выбросы трития в атмосферу и водную среду из ядерных объектов составили 11,7 и 16,0 ПБк соответственно. Средняя годовая коллективная эффективная доза может колебаться при всех видах поступления от 10,5 до 25 чел $\times$ Зв [3].

С точки зрения радиационной защиты персонала и населения заслуживает внимания производство и применение меченых органических тритий-содержащих веществ, как например, тритированных нуклеозидов, предшественников нуклеиновых кислот, имеющих отношение к вопросам передачи и хране-

ния наследственной информации, а также биологических соединений трития – меченных аминокислот, сахаров и гормонов, которые, кроме того, могут быть звеном экологической цепи поступления в организм человека антропогенного трития.

Научный и практический интерес к вопросам радиационной безопасности персонала и населения в отношении трития и его соединений не уменьшается со времен становления атомной промышленности до настоящего времени. В результате проведенных масштабных исследований, начиная с 60-х годов в лаборатории Ю.И. Москалева Института биофизики МЗ СССР (теперь ФМБЦ им А.И.Бурназяна ФМБА России) установлены величины ОБЭ для различных соединений трития, установлены предельно-допустимые активности трития в организме человека; еще в 1950 г. Ю.М. Штукенбергом рассчитаны ПДК в воздухе и воде, а также смертельные активности. Впоследствии эти данные о биологическом действии трития были обобщены в монографии «Окись трития», под редакцией Ю.И. Москалева.

В последней публикации НКДАР ООН 2012 г. проанализированы научные данные о здоровье персонала, населения, методы определения доз при поступлении трития в организм, возможные отдаленные последствия. Однако вопросы радиационной безопасности трития остаются нерешенными до конца.

Пути поступления, особенности поведения трития и его соединений в организме животных и человека

Тритий в виде газа (${}^3\text{H}$), в виде оксида (НТО) и в виде органически связанного трития (ОСТ) накапливается в окружающей среде. Последующее поступление трития в организм человека происходит с вдыхаемым воздухом, с питьевой водой, молоком, рыбой, растительной пищей. Обладая высокой миграционной способностью, тритий из окружающей среды поступает во все звенья экологического кругооборота, замещая водород и обуславливая разрывы в цепочках РНК и ДНК биологических структур всех живых организмов. Именно ОСТ, прошедший по всей пищевой цепи «трава–корова–молоко–мясо–человек», является наиболее биологически опасным по сравнению с тритиевой водой (НТО), которая также является источником и фактором облучения организма, где замещает простую воду (H_2O) и распадается с выходом бета-частиц и ядер гелия [6].

В организме человека тритий существует в виде двух отдельных соединений – НТО и ОСТ. Наибольшую опасность представляет тритий в виде ОСТ, т.к. период полувыведения трития из организма взрослого человека в виде НТО составляет око-

ло 10 сут, в то время как для ОСТ $T_{1/2\text{биол}}$ составляет больше года и зависит от вида ОСТ. По данным МКРЗ, биологический период полувыведения различных органических соединений трития колеблется от 20 до 80 сут. Фактическая убыль радионуклидов из организма измеряется эффективным периодом полувыведения ($T_{1/2\text{эфф}}$). Это есть время, в течение которого организм освобождается от половины депонированного вещества за счёт физического распада и путём биологического выведения. $T_{\text{эфф}}$ трития из свободной воды организма составляет 9,7 сут. Органически связанный тритий выделяется из организма с двумя периодами полувыведения: $T_1 = 30$ сут и $T_2 = 450$ сут [7–9].

Фракции трития абсорбируются растениями и животными и могут образовывать соединения трития с карбонатами, жирами, белками и коллагенами. Индивидуально ОСТ может поступать с пищей. Атом трития может связываться с атомом кислорода, углерода, азота, серы.

Органически связанный тритий представляет более серьезный фактор риска, чем тритиевая вода, поскольку значительно выше вероятность проникновения органически связанного трития в состав ДНК или других биомолекул. Поскольку бета-частицы малой энергии трития не распространяются на большие расстояния, то разница в повреждениях, нанесенных тритием, который сконцентрирован в ядре клетки (где находится ДНК), и тем, который находится в цитоплазме, будет велика. Например, ОСТ, попадающий в организм с пищей, более вероятно войдет в состав биомолекул, чем тритий, который проникает в организм с питьевой тритиевой водой.

Атом трития в ОСТ, присоединенный к атому углерода, существенно фиксируется, а с атомом азота, кислорода и фосфора легко осуществляется обмен водорода в воде. В связи с тем, что кинетику обмена определяет также метаболизм отдельных тканей и органических соединений, распределение ОСТ в орга-

низме характеризуется неравномерностью в противоположность НТО [7, 8].

Таким образом, ОСТ может поступать в организм человека с пищей, с тритированными малыми соединениями и образовываться в организме из НТО (3 % по МКРЗ [10]) Исследования позволили сделать вывод, что содержание органически связанного трития в органах и тканях может составлять до 25 % по отношению к тритиевой воде.

Среди практически важных соединений трития оксид трития является примером наименее избирательного распределения его в организме с относительно быстрым формированием дозы во всех богатых жидкостью средах организма. Анализ данных по распределению трития в организме показал, что в водной фазе изотоп распределен равномерно в различных органах и тканях, растворяясь в жидкостях организма до величины, приблизительно равной 1,6 %; в сухом остатке органов и тканей содержится до 10 % введенного трития [11–14]. В опытах на крысах показано, что распределение трития в отдельных компонентах крови происходит неодинаково. Наибольшие количества его обнаруживаются в сыворотке крови, лейкоцитах, наименьшее – в эритроцитах. В почках наблюдается наибольшее содержание трития в корковом слое, в мозговом слое его почти в 2 раза меньше [15].

Биокинетическая модель тритированной воды или других тритированных соединений, которые превращаются в НТО и ОСТ при поступлении в организм различных тритированных соединений, представлены на рис. 1 и 2.

Удельный вклад поступления трития с вдыхаемым воздухом и через кожные покровы составляет 15–20 % от фактического содержания трития в организме. С продуктами питания и питьевой водой поступает 80–85 % этого радионуклида [15].

Данные, полученные на добровольцах, которые вдыхали тритий в концентрации $(1,85–18,5) \times 10^4$ Бк/л в течение 1,5–60 мин, показали что 98–99 % дыха-

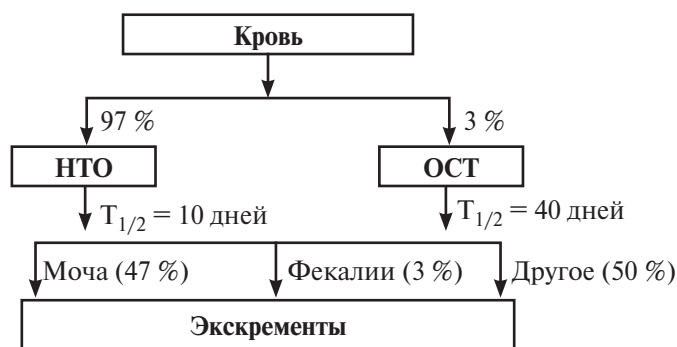


Рис. 1. Биокинетическая модель тритиевой воды [9]

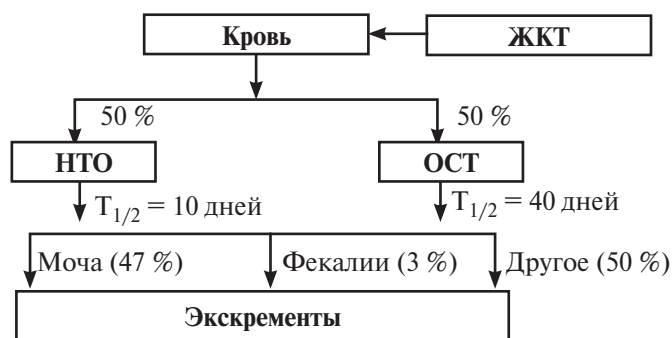


Рис. 2. Биокинетическая модель органического трития [10]

емого пара тритиевой воды (НТО) всасывается через дыхательные пути и обменивается в организме. Выдыхается всего 1–2 % НТО. У трёх лиц, не пользовавшихся никакими средствами индивидуальной защиты, скорость поступления трития была $54,8 \times 10^4$; $54,8 \times 10^4$; $66,2 \times 10^4$ Бк/мин на каждые $3,7 \times 10^4$ Бк трития в одном литре воздуха [6].

Экспериментально изучено воздействие на организм животных НТО. При двухчасовом ингаляционном поступлении НТО в организм крыс в концентрации $(8,1\text{--}13,3) \times 10^4$ Бк/л максимальное содержание трития наблюдается через 6 ч в мышцах, скелете, коже, крови и печени [7, 12]. В ранние сроки после ингаляции концентрация НТО в водной фазе в 10–15 раз превышает концентрацию в сухом остатке. Однако к 16-м суткам за счет быстрого выведения изотопа из водной фазы органов и тканей концентрация его в водной фазе и сухом остатке становится одинаковой.

Динамика накопления оксида трития в органах крыс после однократной ингаляции представлена в табл. 1 [12].

Для человека скорость всасывания НТО из загрязнённой атмосферы через кожу приблизительно равна скорости всасывания через лёгкие. Существенное влияние на всасывание НТО через кожу оказывает температура окружающей среды. Так, максимальное

количество активности НТО наблюдается в крови, в печени и мышцах в летнее время. Было отмечено, что при концентрации паров НТО в воздухе $1,85$ Бк/см³ поступление НТО через кожу за 8 ч составило $13,3 \times 10^6$ Бк, а через лёгкие $18,5 \times 10^6$ Бк [16], т.е. практически одинаково. Повреждение рогового слоя резко увеличивает скорость всасывания трития через кожу. Выводится тритий из кожи с $T_{\text{эфф}}$, равным 2 ч (95 %) и 12 сут (5 %). При нанесении на кожу НТО в количестве $3,7 \times 10^4$ Бк/см² доза на базальный слой составила $0,012$ Гр [15].

При поступлении НТО через ЖКТ начальный этап всасывания происходит в желудке, однако основное количество радионуклида всасывается в тонкой кишке. Так, у человека в течение 22–55 мин всасывается 1 литр НТО. При этом в венозной крови тритий обнаруживается через 2–9 мин. Пик активности в сыворотке крови и моче наблюдается через 20 мин после заглатывания. Всасывание НТО заканчивается через 40–45 мин. В последующие 2,5 ч содержание НТО в сыворотке крови сохраняется на постоянном уровне [7].

Основные пути выведения трития из организма – почки, органы дыхания и ЖКТ, а также слюнные железы, потовые железы и грудное молоко. Органы дыхания являются важным путем выведения НТО из организма. Так, при в/в введении $23,6 \times 10^6$ Бк

Таблица 1

Динамика накопления оксида трития в органах крыс (% введенного количества) после однократной ингаляции

Орган	15 мин	1 ч	6 ч	1 сут	2 сут
Лёгкое	$0,86 \pm 0,15$	$0,63 \pm 0,21$	$1,28 \pm 0,45$	$0,76 \pm 0,19$	$0,67 \pm 0,18$
Печень	$0,67 \pm 0,56$	$2,86 \pm 1,0$	$3,9 \pm 1,37$	$3,37 \pm 0,19$	$2,44 \pm 0,65$
Почки	$0,72 \pm 0,1$	$0,68 \pm 0,18$	$0,76 \pm 0,33$	$0,52 \pm 0,017$	$0,57 \pm 0,015$
Кишечник	$4,2 \pm 2,0$	$4,6 \pm 1,3$	$3,5 \pm 1,3$	$2,8 \pm 1,3$	$2,7 \pm 0,59$
Кожа	$9,4 \pm 0,51$	$8,6 \pm 2,3$	$10,2 \pm 2,5$	$6,3 \pm 0,57$	$6,0 \pm 1,6$
Кость	$6,7 \pm 1,4$	$7,4 \pm 1,14$	$9,5 \pm 6,8$	$4,5 \pm 0,36$	$4,7 \pm 1,4$
Селезенка	$0,25 \pm 0,15$	$0,32 \pm 0,2$	$0,27 \pm 0,14$	$0,18 \pm 0,05$	$0,18 \pm 0,05$
Мозг	$0,96 \pm 0,24$	$0,95 \pm 0,17$	$1,0 \pm 0,17$	$0,15 \pm 0,13$	$0,48 \pm 0,19$
Мышцы	$34,3 \pm 5,35$	$47,3 \pm 14,5$	$63,1 \pm 29,4$	$34,6 \pm 7,8$	$30,2 \pm 10,75$
Кровь	$7,7 \pm 1,5$	$7,0 \pm 1,18$	$16,25 \pm 5,5$	$6,94 \pm 0,36$	$7,3 \pm 2,0$

Орган	4 сут	16 сут	32 сут	64 сут
Лёгкое	$0,39 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,017$	$0,016 \pm 0,0096$	$0,015 \pm 0,012$
Печень	$1,81 \pm 0,22$	$0,09 \pm 0,01$	$0,039 \pm 0,009$	$0,029 \pm 0,003$
Почки	$0,49 \pm 0,012$	$0,021 \pm 0,0075$	$0,009 \pm 0,009$	$0,009 \pm 0,005$
Кишечник	$1,23 \pm 0,15$	$0,06 \pm 0,02$	$0,032 \pm 0,007$	$0,044 \pm 0,014$
Кожа	$5,6 \pm 0,24$	$0,51 \pm 0,27$	$0,36 \pm 0,16$	$0,59 \pm 0,4$
Кость	$2,4 \pm 0,85$	$0,56 \pm 0,32$	$0,37 \pm 0,18$	$0,39 \pm 0,09$
Селезенка	$0,06 \pm 0,04$	$0,008 \pm 0,002$	$0,008 \pm 0,0015$	$0,007 \pm 0,0025$
Мозг	$0,39 \pm 0,95$	$0,026 \pm 0,017$	$0,032 \pm 0,016$	$0,02 \pm 0,005$
Мышцы	$16,3 \pm 1,8$	$1,8 \pm 1,4$	$0,69 \pm 0,44$	$0,69 \pm 0,34$
Кровь	$3,72 \pm 0,86$	$0,17 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,11$	$0,13 \pm 0,01$

НТО максимальная концентрация в водяных парах выдыхаемого воздуха обнаруживается через 9 мин. Содержание трития в выдыхаемых водяных парах составляет приблизительно 94 % от активности в плазме и моче. Именно на этом принципе основана методика контроля содержания трития в организме персонала тритиевого производства [17].

Через органы дыхания и кожу выделение происходит по экспоненциальному закону с $T_{эфф.}$ равным 3,3 мин (82–95 %); 14,5 мин (4,0–13,2 %); 53,1 мин (0,97–4,3 %); 3 сут (0,1–0,03 %). Суммарная активность трития, выделяемого через кожу (газообразный + тритиевая вода), составляет около 20 % общего количества трития, обнаруживаемого в организме.

Биологический период выведения (T_6) НТО из организма человека составляет в среднем 10 сут. С увеличением возраста выведение НТО из организма замедляется. Из табл. 2 видно, что T_6 напрямую зависит от возраста человека: чем он старше, тем T_6 у него больше. Весной и летом НТО выводится быстрее, чем зимой [18].

Таблица 2

Периоды полувыведения НТО из организма человека в зависимости от возраста [18]

Возраст, год	T_6 , сут
20–29	10,5
30–39	9,5
40–49	9,0
50–59	8,2
40–49	8,3 (весной)
40–49	8,3 (летом)

Как видно из табл. 3, T_6 зависит от вида животных. У крупных животных (лошадь, собака) T_6 заметно больше (8,41 и 5,14 сут соответственно), чем у мелких (мышь, крыса, кролик) (1,9, 3,5 и 3,8 сут соответственно). Исключение составляет кенгуровая крыса, у которой $T_6 = 13,9–22,1$ сут [15].

Таблица 3

Периоды полувыведения оксида трития у животных [21]

Вид животного	T_6 , сутки	Вид животного	T_6 , сутки
Лошадь	$8,41 \pm 0,18$	Крыса	$3,53 \pm 0,40$ $3,38 \pm 0,15$
Собака	$5,14 \pm 0,88$	Кенгуровая крыса	$13,9–22,1$
Мышь	$1,13 \pm 0,14$ $2,16 \pm 0,24$ $5,14 \pm 0,88$	Кролик	$3,87 \pm 0,21$ $3,0 \pm 0,26$
		Морская свинка	$4,53 \pm 0,58$
		Хомяк	$11,82 \pm 2,96$

В табл. 4 представлены рекомендации МКРЗ по дозовым коэффициентам для трития и его соедине-

ний в зависимости от пути поступления и возраста [19].

Таблица 4

Дозовые коэффициенты, рассчитанные на основе биокинетической модели тритиевой воды для различных соединений трития, в зависимости от пути поступления и возраста

Тритированные соединения	Путь поступления	Дозовый коэффициент, Зв/Бк	
		Возраст 1 год	Взрослые
НТО*	Ингаляционный	$4,8 \times 10^{-15}$	$1,8 \times 10^{-11}$
НТО	С пищей	$4,8 \times 10^{-15}$	$1,8 \times 10^{-11}$
НТ	Ингаляционный	$4,8 \times 10^{-15}$	$1,8 \times 10^{-15}$
СТН ₃	Ингаляционный	$4,8 \times 10^{-13}$	$1,8 \times 10^{-13}$

Примечание:

* – Дозовые коэффициенты для вдыхания НТО должны быть увеличены на коэффициент 1,5 для учета поглощения через кожу. Средний аэродинамический диаметр (АМАД) частиц 1 мкм.

В экспериментах на животных установлено, что химическая форма соединений трития влияет на распределение и на скорость его выведения из организма. Методом гистоавторадиографии показано, что распределение НТО и тритированных соединений в клетке значительно отличается. Отсутствуют различия в уровнях накопления НТО в протоплазме и ядре клеток. В то же время показано, что тимидин включается только в ядро клетки (Т.И. Горячева, 1968). Максимальное накопление ^3H -тимидина в тканях происходит через 6 ч, определяясь в ядрах клеток длительное время [17].

Как показали исследования Ю.И. Москалева и соавт., при пероральном введении крысам тритированного этилового спирта основная часть активности (63 %) выводится из воды с периодом полувыведения 6,5 сут, быстровыводящаяся часть (37 %) – с периодом 0,5 сут. Период полувыведения 60 % трития из структурных элементов организма – 1,1 сут, медленно выводящаяся фракция (40 %) – 35,4 сут. За 16 сут с мочой выводится 24,3 %, а при дыхании за 15 мин – 12 %.

Еще быстрее выводится из организма ^3H -диоксифенилаланин. С первым периодом (0,14 сут) выводится 57,3 %, со вторым (1,5 сут) – 40 %, с третьим (3 сут) – 1,5 % и с четвертым (202 сут) – 1,2 %.

Медленно выводится из организма ^3H -тимидин. С первым периодом (8,6 сут) выводится 62 %, со вторым периодом (272 сут) – 38 %. ^3H -этиленгликоль выводится с тремя периодами полувыведения. Быстро выводящаяся фракция составляет 1,6 сут (55 %), второй период – 11,6 сут (20 %) и третий период – 254 сут (25 %) [17].

Таким образом, кинетика обмена трития в организме при поступлении тритированных органических соединений отличается от таковой при введении оксида трития. Скорость выведения трития из организма при введении меченных тритием органических соединений меньше, чем оксида трития. Это способствует созданию в организме более высоких уровней поглощенных тканевых доз по сравнению с таковыми при введении оксида трития. Токсичность органических тритированных соединений больше, чем токсичность оксида трития. Допустимое содержание меченных тритием соединений в организме человека должно быть ниже соответствующего значения для оксида трития. Для таких соединений, как ^3H -этиленгликоль, ^3H -холестерин, ^3H -1 тирозин, ^3H -стеариновая кислота, поступление и допустимое содержание должно быть уменьшено в 2 раза по сравнению с оксидом трития. Для ^3H -тимидина, ^3H -цитидина допустимое поступление в организм должно быть в 8–10 раз меньше, чем оксида трития [11].

Промышленные соединения трития условно можно разделить на две группы: хорошо резорбируемые и плохо резорбируемые. К первой группе соединений, обладающих почти полной всасываемостью при любом пути поступления в организм, следует отнести оксид трития и тритид лития. Вторая группа соединений – малорастворимые аэрозоли: тритид титана, тритид урана и другие. Гидриды этих металлов, являющихся носителями трития, имеют различную дисперсность и обладают различной способностью удерживать тритий на своей поверхности. Всасывание трития в организме из этих соединений зависит от целого ряда факторов: прочности удержания трития в кристаллической решетке носителя, физико-химических свойств самого носителя, влияния окружающей среды, температуры и удельной активности продукта.

Несколько своеобразное положение занимает газообразный тритий. В обычных условиях он мало окисляется, и количество газа, переходящего в оксид, невелико. В организме окисление газообразного трития до оксида не превышает 0,5 % от поступившего количества. Выделение газообразного трития из организма происходит с периодами полувыведения $T_1 > 33$ мин (90 %) и $T_2 = 14,4$ мин (10 %).

Согласно другим данным, значительные количества его (до 90 %) выделяются из организма с периодом полувыведения 3,3 мин, 7 % с периодом 14,5 мин и 3 % с периодом 3 сут.

Экспериментальные данные указывают на то, что как оксид трития, так и тритид лития уже через 15 мин после введения всасываются в значительных количествах. Так, оксид трития при ингаляционном поступлении в организм крыс через 15 мин всасыва-

ется до 83,6 %, тритид лития при пероральном введении за этот срок резорбируется до 76,8 %.

Быстрая резорбция и равномерное распределение трития при различных путях введения оксида трития и тритида лития в организм позволяют считать, что путь введения легко резорбируемых соединений не влияет на характер распределения этого изотопа. Совершенно иная картина распределения трития наблюдается при введении плохо резорбируемых соединений. Так, при введении тритида титана распределение трития в организме крайне неравномерно. При ингаляционном поступлении этого соединения максимальная концентрация трития обнаруживается в сухом остатке легких и желудочно-кишечного тракта.

В отличие от оксида трития и тритида лития, всасывание в организме тритида титана и тритида урана за эти же сроки составляет незначительную величину. Так, через 6 ч после ингаляции всасывается 0,64–3,2 % этих соединений трития. Вследствие таких особенностей распределения концентрация трития в сухом остатке органов и тканей намного выше содержания его в водной фазе.

Кинетика выведения промышленных соединений трития из организма животных различна. Такие соединения, как тритид лития и оксид трития, хорошо резорбирующиеся в организме, выводятся в основном с мочой и выдыхаемым воздухом. При ингаляционном и пероральном пути поступления тритида лития до 98 % трития выводится из организма с периодом полувыведения 2,5–3 сут. Остальные 2 % выделяются с более длительным периодом 64–67 сут.

Оценка кинетических параметров в отдаленные сроки после поступления в организм человека и животных трития и его соединений имеет большое практическое значение для решения вопросов санитарно-гигиенического нормирования.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что после однократного поступления оксида трития в организм значительные количества трития накапливаются в водной фазе организма, 8–10 % трития поступает в водородсодержащие структуры органов и тканей. Тритий, включенный в структурные элементы тканей, выводится гораздо медленнее, чем из водной фазы: $T_1 = 8$ сут (3 %), $T_2 = 124$ сут (0,6 %). Вследствие медленного выведения концентрация трития в сухом остатке органов и тканей в поздние сроки значительно превышает концентрацию трития в водной фазе [11].

Содержание органически связанного трития может существенным образом изменяться в отдаленные сроки после однократного поступления в организм, накопление его зависит от формы вводимого соединения и ритма поступления в организм. Так, через 7 и 8 лет после однократного введения собакам

оксида трития с удельной активностью от 0,29 до $0,55 \times 10^7$ Бк/кг содержание органически связанного трития в структурных элементах органов и тканей было в 15–20 раз больше, чем в водной фазе организма. Наибольшие количества связанного трития отмечались и в сухом остатке мышц, коже, головном мозге и ткани легких [11].

При хроническом поступлении оксида трития в организм тритий внедряется в структурные элементы органов в значительно большем количестве, чем при однократном воздействии. Локальная поглощенная доза, полученная 1 г сухого остатка печени за 59 сут хронического введения оксида трития кроликам, создается на 82,5 % за счет трития белковой части органа, на 11,5 % — за счет свободных липидов и на 6 % за счет трития, включившегося в связанные липиды печени. Интенсивность включения изотопа в биохимические фракции сильно варьируется в зависимости от места их локализации в организме. Скорость включения трития в свободные липиды костного мозга в 3,76 раза ниже, чем в ту же фракцию печени.

В работе [15] показано, что при хроническом поступлении оксида трития в организм крыс активностью $10,3 \times 10^4$ Бк/сут накопление трития в сухом остатке в 9 раз больше, чем в водной фазе. Основной период полувыведения трития из водной фазы составляет 3,8 сут, а для сухого остатка — от 9 до 50 сут. В мягкие ткани тритий включается интенсивнее, чем в костную ткань. Выведение трития из печени идет быстрее, чем из других мягких тканей. После прекращения поступления оксида трития в организм 38 % тканевой дозы создается за счет трития, включенного в структурные элементы органов.

По данным [22], через 4 мес ежедневного введения крысам оксида трития активностью 0,016 МБк/сут содержание трития в структурных элементах печени было в 20 раз больше, чем в водной фазе. Для мышц отношение количества трития в сухом остатке к воде за весь период исследования (4 мес) после окончания введения практически постоянно и равняется трем. Это отношение для кожи после прекращения введения изменяется от 2,5 до 7. Количество трития, внедряющегося в белки в первые сроки после окончания введения изотопа (до 14 сут), ниже концентрации трития в анализируемых органах и тканях. Однако через месяц концентрация трития в белках в 3 раза выше, чем его концентрация в органах, а через 4 мес в белках трития содержится в 15 раз больше.

На значительное инкорпорирование трития в органически связанной форме указывали ранее многие авторы, использовавшие в эксперименте разные виды животных (Эванс, 1969 — олени; Рочалска, 1977 — крысы; Кирхманн 1971 — коровы; Риджак-Флис 1987 — крысы). Исследования позволили сде-

лать вывод, что содержание органически связанного трития в органах и тканях может составить до 25 % по отношению к тритированной воде.

Биологическое действие трития и его соединений

Экспериментально изучено острое и хроническое воздействие на организм животных газообразного трития и НТО, а также комбинированное и сочетанное воздействие с факторами радиационной и нерадикационной природы [15, 20–22].

Обладая наименьшей из всех радионуклидов энергией бета-частиц, тритий создает значительную плотность ионизации тканей (число пар ионов, образуемых заряженной частицей на единице ее пути). Кроме того, пробег бета-частицы трития значительно меньше геометрических размеров клеток, поэтому поражение тритием локализуется возле самого атома трития, и общее поражение зависит от геометрии его распределения в тканях организма и микрогеометрии распределения в клетке.

Биологическое действие трития усиливается тем, что при его распаде образуется инертный газ гелий ^3He , поэтому рвутся водородные связи в живых клетках, а это будет сказываться на нарушении процесса синтеза органических структур в клетке, т.е. и на наследственности.

Внешнее облучение организма тритием не представляет большой опасности для здоровья. Роговые слои кожи (толщиной около 70 мкм) удовлетворительно защищают от бета-частиц трития. Но попадание трития в любой форме в организм представляет определенную потенциальную опасность [24].

Промышленные соединения трития обладают различной биологической эффективностью. Более выраженный биологический эффект наблюдается при введении оксида трития и тритида лития, менее эффективными оказались тритид титана и тритид урана. Биологическая эффективность газообразного трития примерно в 10 тыс. раз меньше, чем оксида трития.

Отсутствие выраженного биологического эффекта от введения в организм животных гидридов металлов объясняется тем, что независимо от пути поступления тритида титана и тритида урана в оксид трития переходит не более 1–3 % от введенного количества изотопа. Основное же количество трития находится в связанном состоянии с его носителем.

Вторым моментом, определяющим токсичность данных соединений, является поглощение энергии излучения трития самим носителем. Благодаря малой энергии β -частиц трития значительная доза излучения, испускаемая изотопом, находящимся внутри молекул тритида титана и урана, поглощается самим

носителем трития. Следует подчеркнуть, что при любом пути поступления этих соединений в организм не наблюдается равномерного распределения трития в органах депонирования.

Острое воздействие. Животные. Большинство авторов считает, что газообразный тритий менее токсичен, чем НТО, однако непосредственных данных о параметрах токсичности не приводится. Вместе с тем знание эффективных доз газообразного трития при разных режимах его поступления крайне необходимо для оценки допустимых уровней воздействия его на организм человека.

Пинсон еще в 1957 г. указал, что вследствие низкой растворимости трития в жидких средах организма НТО представляет большую биологическую опасность, чем газообразный тритий. Газообразный тритий подобно инертным газам растворяется в жидкостях тела в очень незначительных количествах и быстро выводится из организма. Опасность облучения организма газообразным тритием примерно в тыс. раз меньше, чем НТО. Однако авторы не исключают возможности максимальной опасности острого облучения смесью газообразного трития и воздуха, вследствие окисления трития до НТО при воспламенении взрывчатой смеси.

По данным [15], при ингаляции газообразного трития ЛД_{50/30} составляет: для мышей $(7,1 \pm 0,23) \times 10^{10}$ Бк/л, а для крыс — $(2,4 \pm 0,05) \times 10^{10}$ Бк/л. При воздействии высоких концентраций, когда уровни тканевых доз составляют 10–50 Гр, большинство животных погибает в течение первых двух недель (табл. 5).

Клиническая картина поражения в экспериментах с НТО у различных животных однотипна. В ранние сроки после начального периода возбуждения у животных наблюдаются слабость, адинамия, вялость, снижается пищевая возбудимость вплоть до отказа от пищи. Уменьшается масса тела. При поступлении больших количеств НТО порядка $0,55 \times 10^7$ Бк/г развиваются серозно-геморрагический ринит, блефарит, энтероколит. На 5–7-е сут проявляется геморрагический синдром. Удлиняется время свертывания крови, повышается проницаемость кожных сосудов, появляется кровь в кале и моче.

Возникают мелкие единичные и множественные кровоизлияния в коже, слизистых оболочках, внутренних органах. Снижается содержание лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов и ретикулоцитов. Наблюдаются качественные изменения клеток крови: токсическая зернистость нейтрофилов, гиперсегментоз ядер, вакуолизация протоплазмы лимфоцитов, повышенный цитоллиз. В острой стадии поражения отмечается резкое угнетение костно-мозгового крововетворения. В пунктатах костного мозга встречаются лишь единичные пикнотичные одноядерные клетки, эритробласты и нейтрофилы [24, 25].

Патоморфологические изменения при поражении оксидом трития в острой стадии характеризуются гемодинамическими расстройствами и дистрофическими изменениями клеточных элементов внутренних органов. У животных нарушается синтезирующая функция печени, наблюдаются изменения в углеводном и жировом обмене, отмечается раннее торможение диуреза. В моче — желчные пигменты, следы белка, кристаллы билирубина. Происходят выраженные изменения в антиинфекционной резистентности, в развитии аутоаллергических процессов, нарушения бактерицидной способности кожи [7, 26].

Динамика изменения иммунологической реактивности изучена в опытах на собаках, крысах, мышах, причем как в острых, так и хронических экспериментах. Показана отчетливая зависимость «доза—эффект» по изученным показателям: микрофлора кожи, бактерицидность кожи, микрофлора слизистой полости рта, фагоцитарная активность нейтрофилов крови, наличие антител.

После воздействия оксида трития у крыс и собак найдены существенные нарушения в обмене веществ. У животных обнаружены изменения некоторых сторон углеводного, белкового и жирового метаболизма. Особенностью действия оксида трития является изменение углеводного обмена, отличающееся от тех изменений, которые возникают при внешнем облучении, а также от других инкорпорированных нуклидов.

Характерным для действия остро и подостро эффективных количеств НТО $(18,5–37) \times 10^9$ Бк/л — крысы, $5,5 \times 10^9$ Бк/л — собаки) являются: развитие стой-

Таблица 5

Среднесмертельные количества НТО для разных периодов поражения (в МБк/г)

Животные	ЛД _{50/15}	ЛД _{50/30}	ЛД _{50/60}	ЛД _{50/120}	ЛД _{50/240}	ЛД _{50/360}
Мыши	$17,39 \pm 0,068$	$12,58 \pm 0,028$	$10,36 \pm 0,021$	$7,7 \pm 0,019$	$5,92 \pm 0,17$	$2,93 \pm 0,008$
Крысы	$41,4 \pm 0,14$	$37,0 \pm 0,15$	$33,04 \pm 0,048$	$29,6 \pm 0,061$	$20,72 \pm 0,064$	$18,87 \pm 0,076$
Кролики	$16,65 \pm 0,03$	$16,28 \pm 0,01$	$12,95 \pm 0,06$	$12,58 \pm 0,13$	$11,84 \pm 0,05$	$7,03 \pm 0,12$
Собаки	$6,24 \pm 0,02$	$5,55 \pm 0,03$	$5,55 \pm 0,03$	$5,55 \pm 0,03$	$5,55 \pm 0,03$	$5,55 \pm 0,03$

кой гипогликемии, снижение содержания гликогена в печени и мышцах, пировиноградной кислоты, а также активности холинэстеразы и липидных фракций в сыворотке крови. Хронически эффективные количества ($9,2 \times 10^9$ Бк/л — крысы, $3,0 \times 10^9$ Бк/л — собаки) вызывают развитие гипогликемии, повышение содержания гликогена в печени, увеличение уровня липидных фракций в сыворотке крови в отдаленные сроки воздействия. Максимально недействующее количество по биохимическим показателям для крыс составляет $5,5 \times 10^9$ Бк/л, что создает суммарную дозу на организм 0,8 Гр. Максимально недействующая доза по метаболическим реакциям у собак равна 0,2 Гр [26, 30].

Учитывая, что оксид трития содержит равномерно распределяющийся в организме радионуклид, представляло интерес сравнить его действие на обмен веществ с действием внешнего облучения. Установлено, что по биохимическим показателям крови крыс ОБЭ НТО в среднем равна 1,5 [30].

Журавлёв В.Ф. с соавт. в опытах на крысах изучали ОБЭ оксида трития в сравнении с внешним гамма-излучением ^{137}Cs по различным показателям. По изменению продолжительности жизни крыс ОБЭ составляет 1,6. По реакции лейкоцитов и лимфоцитов ОБЭ в среднем соответствует 1,9; по изменению массы зубной железы — находится в пределах 1,6–2,1; по изменению массы селезенки — 1,74–1,89 (табл. 6) [11].

Хроническое воздействие. Животные. При 6-месячном введении крысам с питьевой водой малых количеств НТО ($0,037\text{--}0,018$) $\times 10^4$ Бк/г в сут у животных развивается хроническая форма поражения, которая характеризуется некоторым раздражением органов кроветворения. Исследования показали, что

при хроническом поступлении НТО в организм большая доля радионуклида внедряется в структурные элементы органов по сравнению с содержанием его в водной фазе. Значительное число опухолей молочных желез обнаружено у крыс при воздействии НТО в концентрации $27,4 \times 10^4$ Бк/мл. У самок число опухолей молочных желез составило 31,8 %, в контрольной группе — 20 %. Хроническое воздействие НТО в концентрации от $27,4 \times 10^4$ до $10,8 \times 10^5$ Бк/мл снижает среднюю продолжительность жизни крыс. Концентрация $13,7 \times 10^4$ Бк/мл не уменьшает среднюю продолжительность жизни животных и не увеличивает выход опухолей молочных желез. В хронической фазе поражения развивается сосудистый нефросклероз, происходит угнетение лимфопоэза в селезенке и лимфатических узлах.

Человек. Описан случай лучевой болезни после поступления в организм значительного количества НТО [27]. Больной стал отмечать общую слабость, быструю утомляемость, апатию, боли в полости рта при жевании. Изменения в крови, СОЭ 50 мм/ч, свертываемость крови по Мас-Магро 28 мин, кровоточивость по Дукке 30 мин. Опустошение костного мозга. В моче определяли $16,7 \times 10^{10}$ Бк/мл НТО.

Расчетные данные показали, что в организм больного поступило $35,2 \times 10^{10}$ Бк НТО. Доза внутреннего облучения за все время составила 12 Зв. Периоды полувосстановления общего количества лейкоцитов и нейтрофилов 32 и 39 сут соответственно. Для данного наблюдения характерными являются отсутствие первичной реакции, что часто встречается в эксперименте, и большая выраженность геморрагического синдрома. Примерно около 75 % всей дозы облучения сформировалось в течение первых двух недель после поступления трития в организм. Причины вы-

Таблица 6

Относительная биологическая эффективность оксида трития

Тест	Сравниваемые источники излучений	ОБЭ
Рассчитано по ЛПЭ	НТО: γ НТО: X^*	1,7 2,5–3,0
Летальный эффект (мышь)	НТО: γ	1,7
Атрофия зубной железы, селезенки (мышь)	НТО: γ	1,4
Трансаминазная активность печени крыс	НТО: γ	1,5
Летальный эффект (крыса, мышь)	НТО: γ	2,8–2,9
Опухоль молочной железы (крыса)	НТО: γ , X^* , протоны	1,0
Лейкозы (крыса) — самцы самки	НТО: γ , X^* , протоны	4,0 1,3–1,4
Летальный эффект (крыса)	НТО: γ	1,6
Реакция лейкоцитов и лимфоцитов (крыса)	НТО: γ	1,9
Изменение массы зубной железы (крыса)	НТО: γ	1,61–2,09
Изменение массы селезенки (крыса)	НТО: γ	1,74–1,89
Радиочувствительность бактерий	НТО: γ	1,2

Примечание:

* — рентгеновское излучение

раженного геморрагического синдрома — тотальное угнетение тромбоцитопоза и резкие изменения в сосудистой стенке вследствие включения НТО во все структурные элементы органов и тканей.

Интересны работы последних лет относительно воздействия трития на тонкие клеточные структуры, в частности, на ДНК хромосом. Так, например, в работе Нагибы В.И. [28] показано, что тритий способен замещать водород в молекуле ДНК, что может привести к увеличению периода его выведения из организма и, соответственно, к возрастанию риска отдаленных последствий облучения, в том числе канцерогенного риска.

При проведении обследования профессионалов-атомщиков, подвергавшихся хроническому воздействию бета-излучения трития, было установлено, что:

- Средняя частота нестабильных хромосомных aberrаций в группе обследованных через 40 и более лет с момента начала работы в условиях радиационно-опасного производства достоверно превышает контрольный уровень. При этом частота маркеров радиационного воздействия (дицентриков и центрических колец) в 2,25 раза выше аналогичного показателя в контрольной группе и коррелирует с величиной поглощенной дозы (коэффициент корреляции равен порядка 0,23);

- Средняя частота стабильных хромосомных aberrаций — транслокаций в обследованной группе составила $21,9 \pm 3,1$ на 1000 клеток. Эта величина в 4 раза превышает контрольный уровень. Выявлена положительная корреляция между индивидуальными значениями транслокаций и поглощенной дозы 0,65.

- По частоте хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови определены значения ОБЭ бета-излучения трития в диапазоне от 0,05 до 1 Гр. Максимальное значение ОБЭ — около 2,6 — получено в области малых доз (0,05 Гр). При увеличении дозы радиационного воздействия значение ОБЭ снижается, составляя около 1 при дозе 1 Гр.

- Показано, что радиационное поражение генома клеток крови более чем в 3 раза превышает поражение генома после действия внешнего гамма-нейтронного излучения в отдаленные сроки после хронического воздействия. Эти данные являются косвенным подтверждением более высокой биологической эффективности бета-излучения трития и свидетельствуют о хорошем соответствии экспериментально полученным значениям ОБЭ [29].

Важным моментом при изучении биологического действия соединений трития является установление значения ОБЭ трития в зависимости от используемого теста как по эпидемиологическим, так и экспериментальным данным. Это имеет практическое значение в

связи с необходимостью оценки допустимых уровней содержания трития в организме, воздухе производственных помещений и воде. В 1960–70-х гг. были опубликованы первые экспериментальные данные по ОБЭ трития, полученные по показателям обмена веществ, изменению продолжительности жизни, реакции лейкоцитов и лимфоцитов, изменению массы зубной эмали, селезенки и другим показателям.

В работе [30] ОБЭ трития в 1,7 раза больше, чем гамма-излучение ^{60}Co ; по сравнению с бета-излучением ^{32}P ОБЭ трития считают равной 3. Необходимо подчеркнуть еще раз, что большая биологическая эффективность трития объясняется созданием в единице объема ткани в 10–30 раз большей плотности ионизации, чем от рентгеновского и гамма-излучения. Кроме того, необходимо учитывать, что при распаде трития образуется дочерний продукт — гелий (^3He), который приводит к разрыву связей ДНК и других структур, куда включается тритий. Это может вызвать генетические эффекты вследствие нарушения обмена в ДНК.

По результатам исследований зарубежных авторов были обобщены данные по ОБЭ трития для рентгеновского и гамма-излучения. При этом исследования проведены как *in vitro*, так и *in vivo*. Коэффициент ОБЭ для оксида трития колеблется для рентгеновского излучения от 0,7 до 2,6, а для γ -квантов — от 1,5 до 5 [38–45]. Приведенные средние коэффициенты ОБЭ для оксида трития хорошо согласуются с полученными величинами ОБЭ трития отечественными учеными.

В отдаленные сроки после воздействия НТО наблюдаются новообразования различной локализации: хроническая форма лейкоза, опухоли молочной, щитовидной и паращитовидной желез, гипофиза и яичников [15, 16, 25]. При внутрибрюшинном введении НТО с объемной активностью $1,1 \times 10^{10}$ Бк/л у крыс (26 %) развивается хроническая форма лейкоза; у самцов лейкозы встречаются гораздо чаще (46 %), чем у самок (15,7 %). Опухоли молочных желез отмечены у 66,7 % самок и у 6,5 % самцов. минимальная доза, вызывающая развитие опухолей молочных желез, составляет 0,5 Гр, при этой же дозе развивается катаракта [46]. Опухоли паращитовидных желез при воздействии той же дозы НТО возникают у 38,7 % самцов и 15,7 % самок, опухоли щитовидных желез — у 19,6 % самок и 8 % самцов.

В большинстве случаев при остром воздействии НТО с удельной активностью $1,11 \times 10^7$ Бк/г встречаются опухоли гипофиза и яичников. Так, опухоли гипофиза развиваются у 31,4 % самцов и у 11,3 % самок, опухоли яичников — в 3,9 % случаев. Через 1 год после введения кроликам НТО у части животных отмечен саркоматоз.

Особенность отдаленных последствий, вызванных ОСТ, определяется неравномерностью распределения их по органам и тканям, более длительной задержкой в органах при хроническом поступлении в 3–20 раз по сравнению с НТО [56, 47–49], более высокой концентрацией ОСТ в ДНК (в 4,6 раза выше, чем НТО) [50].

Тритированные предшественники ДНК и РНК (тимидин, дезоксицитидин, нуклеиновые кислоты и др.) вызывают повреждения хромосом в ооцитах или сперматогониях, которые могут быть мутагенными. Особенно это относится к ОСТ тимидину, который непосредственно включается в ядро клетки. По данным МКРЗ, в ДНК включается 1–2 % ОСТ тимидина [51]. МКРЗ оценивает генетический риск как 0,2 % до второго поколения.

При оценке репродуктивной функции необходимо отметить, что тритий, включенный в ДНК яйцеклетки, будет оставаться там в течение всей жизни клетки, поэтому теоретически клетка может облучаться в течение 30 лет [52]. Гибель ооцитов происходит при накоплении дозы, равной 0,19 мГр (0,17 МБк). Сперматогонии постоянно производятся из стволовых клеток в течении всей взрослой жизни. На этапах обновления зародышевые клетки особенно чувствительны. Снижение их на 50 % у мышей происходит при дозе 0,3 Гр [53]. Тимидин с удельной активностью 185 кБк/г формирует дозу в ядре клеток у мышей, равную 84 мГр, оксид трития удельной активностью 2200 кБк/г – дозу 49 мГр [53, 54]. Показано, что гибель клеток и мутагенез (лимфолейкоз клеток мышей) происходят при объемной активности тритий-тимидина, равной 37 кБк/мл, тритий-аминокислот – 37–370 кБк/мл, оксида трития 18,5–185 МБк/мл [55].

Для оценки возможности развития отдаленных последствий после воздействия на организм соединений трития необходимо учитывать нерадиационные последствия поступления трития – трансмутационный эффект, вызванный образованием в клетке стабильного газа – гелия-3 (^3He) [56]. Показано, что воздействие внутриклеточного трития за счет бета-облучения ядра и трансмутационные эффекты дают сопоставимые эффекты [57].

Эксперименты по сочетанному действию НТО с факторами нерадиационной природы показали, что при введении животным в течение 6 месяцев с питьевой водой нитрата натрия (100 и 200 мг/л) и (1000 и 2000 мг/л) и однократном введении им НТО с удельной активностью $1,1 \times 10^7$ и $2,2 \times 10^7$ Бк/г отмечается сокращение средней продолжительности жизни на 93–104 сут по сравнению с введением одной НТО. Средний латентный период возникновения первых 25 % опухолей молочных желез сократился на

60–80 сут в группе при сочетанном воздействии. При введении одного оксида трития с удельной активностью $2,2 \times 10^7$ Бк/г выход злокачественных опухолей молочных желез составлял 7,7 %. При сочетанном воздействии оксида трития и нитрата натрия в концентрации 100 мг/л – 36 % [18].

Оксид трития как при однократном, так и при хроническом поступлении в сочетании с шумом и повышенной температурой оказывает более выраженное неблагоприятное действие на организм, чем воздействие каждого из факторов в отдельности. Наибольший эффект наблюдается при сочетании всех трёх факторов по таким показателям, как сокращение продолжительности жизни, изменение состава периферической крови, снижение иммунологической реактивности, изменение функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС).

При воздействии шума интенсивностью 100–103 дБ при частоте 50 Гц, повышении температуры на 10 °С и однократном поступлении НТО удельной активностью 2,22 и 22,2 МБк/г крысам отмечается усиление биологического эффекта. Сочетанный эффект превышает суммарный. Поражения, вызванные сочетанным воздействием шума, повышенной температуры и длительным поступлением НТО удельной активностью 6,1–61 кБк/г, также приводят к усилению биологического эффекта (потенцирование) [58].

Таким образом, если поведение и биологическое действие трития в виде НТО в организме животных исследовано достаточно полно, то этого нельзя сказать о различных ОСТ. Этому вопросу в экспериментальных исследованиях было уделено мало внимания в связи с тем, что ОСТ как биологически значимый фактор присутствия трития в организме установлен лишь в последнее десятилетие.

Заключение

В результате анализа литературы по проблеме биологического действия и радиационной безопасности трития и его соединений с момента становления атомной промышленности до настоящего времени установлено, что учеными поднят огромный пласт работ по оценке особенностей действия трех химических форм трития – тритированной воды, органического соединения трития, тритированного газа.

Расчетные данные по кинетическим моделям Международной комиссии по радиационной защите подтверждают данные, полученные отечественными учеными. На современном этапе важным является то, что уточнены значения ОБЭ трития.

Оценка биологических эффектов при внутреннем поступлении радионуклида показала большую опасность для человека органических соединений трития, что связано с преимущественным депонированием

ОСТ в структурах РНК и ДНК клеток. Однако экспериментальные исследования в этом направлении весьма ограничены и противоречивы как на организменном, так и на генном уровнях. Этот факт имеет важное значение для оценки опасности трития и его соединений при решении вопросов нормирования.

Биокинетическая модель оксида трития, приведенная МКРЗ, является удовлетворительной для предсказания концентрации НТО в организме и скорости экстракции. В то же время биокинетическая модель для ОСТ, согласуясь с экспериментальными данными, не учитывает неравномерность распределения ОСТ по органам и тканям, а также скорости их экстракции из организма и тканей. Важным является факт, что модель не учитывает роль возрастного фактора при оценке кинетических параметров как для ОСТ, так и для НТО, особенно при хроническом поступлении их в организм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вредные вещества в окружающей среде. Радиоактивные вещества. Под ред. *Василенко И.Я.* — СПб.: НПО «Профессионал». 2006, 334 с.
2. Источники и действия ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977 г. Генеральной ассамблеи с приложениями. Нью-Йорк. 1, 1978, 382 с.
3. United Nations. Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B; Volume II: Scientific Annexes C, D and E. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2006 Report. United Nations sales publications E.08.IX.6 (2008) and E.09.IX.5 (2009). United Nations, New York.
4. *Балонов М.И.* Дозиметрия и нормирование трития. — М.: Энергоатомиздат, 1983, 152 с.
5. *Дёмин С.Н., Тёлушкина Е.Л.* Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия // Бюллетень радиационной медицины, 1987, 1, С. 23–28.
6. *Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И.* Тритий. — М.: Энергоатомиздат, 1985, 248 с.
7. *Журавлёв В.Ф.* Токсичность оксида трития в эксперименте. // В сб.: «Распределение, биологическое действие и ускорение выведения радиоактивных изотопов». Под ред. *Москалёва Ю.И.* — М.: Медицина. 1964, С. 202–209.
8. *Калистратова В.С., Ильин Л.А.* Биологическое действие радионуклидов и основа защиты организма // Радиационная медицина. Руководство. Под ред. *Ильина Л.А.* — М.: Изд. АТ, 2004, 1, С. 631–634.
9. *Калистратова В.С.* Особенности биологического действия инкорпорированных радионуклидов. // В сб.: «Радиационная медицина». Руководство. Под ред. *Ильина Л.А.* — М.: ИздАт, 2004, 1, С. 604–613.
10. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Fifty-ninth session. Biological effects of selected internal emitters. Part A: Tritium. — Vienna, 2012, 153 pp.
11. *Журавлев В.Ф.* Токсикология радиоактивных веществ. — М.: Энергоатомиздат, 1990? 336 с.
12. *Журавлёв В.Ф., Калязина Н.С.* Кинетика обмена газообразного трития. // Гигиена и санитария, 1974, № 6, С. 113–114.
13. *Журавлёв В.Ф., Калязина Н.С., Калугин К.С.* Экстраполяция данных с животных на человека при оценке допустимых уровней воздействия газообразного трития // В кн.: «От радиобиологического эксперимента к человеку». Под ред. *Москалёва Ю.И.* — М.: 1976, С. 146–150.
14. *Москалев Ю.М., Стрельцова В.Н.* Основы радиационной биологии. — М.: Наука, 1964, 249 с.
15. *Журавлёв В.Ф.* Токсичность и клиническая картина поражения окисью трития различных видов животных. // В кн.: «Окись трития». Под ред. *Москалёва Ю.И.* — М.: Атомиздат, 1968, С. 175–197.
16. *Журавлёв В.Ф.* Биологическое действие оксида трития при хроническом поступлении в организм. // В кн.: «Распределение и биологическое действие изотопов». Под ред. *Москалёва Ю.И.* — М.: Атомиздат, 1966, С. 188–196.
17. *Журавлёв В.Ф., Калязина Н.С., Крылов О.В.* Особенности обмена и биологического действия органических соединений меченных тритием. // В кн.: «Биологические эффекты малых доз радиации». Под ред. *Москалева Ю.И.* МЗ СССР Институт биофизики. — М., 1983, С. 74–77.
18. *Журавлев В.Ф.* Влияние модифицирующих факторов на распределение и биологическое действие оксида трития. // В кн.: «Проблемы нормирования ионизирующих излучений в условиях воздействия модифицирующих факторов». — М., 1991, С. 295–300.
19. International Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Publication 71. — Pergamon Press, Oxford, 1995.
20. *Муксинова К.Н., Воронин В.С., Кириллова Е.Н.* Отдаленные последствия хронического действия оксида трития. // В сб. «Биологические эффекты малых доз радиации». Под ред. *Москалева Ю.И.* МЗ СССР Институт биофизики — М., 1983, С. 70–74.
21. *Москалёв Ю.И., Стрельцова В.Н.* Бластоогенное действие оксида трития при длительном поступлении в организм (экспериментальное исследование). // Мед. радиол., 1981, 26, № 3, С. 41–44.

22. Журавлев В.Ф., Колязина Н.С., Кацапов И.С. Распределение и биологическое действие оксида трития при хроническом поступлении в организм. // Радиобиология, 1982, **22**, № 4, С. 556–560.
23. Ярмоненко С.П. Низкие уровни излучения и здоровье. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2000, **45**, № 3, С. 5–32.
24. Москалёв Ю.И., Стрельцова В.Н. Об опухолевом действии ионизирующей радиации. // В кн.: «Основы радиационной биологии». — М., 1963, 277 с.
25. Москалёв Ю.И., Стрельцова В.Н. Лучевой канцерогенез в проблеме радиационной защиты. — М.: Энергоиздат, 1982, 114 с.
26. Казбекова Д.А. Морфологические изменения органов животных при введении им оксида трития. Дисс. канд. мед. наук. — М., 1969, 160 с.
27. Окладникова М.Д. и соавтор. Изучения динамики здоровья при остром поступлении трития. // Мед. радиол., 1969, № 6, С. 8–14.
28. Нагиба В.И. Автореф. дисс. канд. биол. наук. — М., 2009, 18 с.
29. Снегирёва Г.П., Хаймович Т.И., Богомазова А.Н. и соавт. Цитогенетическое обследование профессионалов-атомщиков, подвергшихся хроническому воздействию бета-излучения трития. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2009, **49**, № 1, С. 60–67.
30. Калистратова В.С., Тищенко Г.С. Оценка относительной биологической эффективности оксида трития по биохимическим показателям крови крыс. // Радиационная биология. Радиоэкология, 1998, **38**, № 1, С. 31–37.
31. Москалёв Ю.И., Колязина Н.С., Журавлев В.Ф. Кинетика обмена в организме, тимидина, меченого тритием. // Гигиена и санитария, 1980, № 12, С. 38–41.
32. Lambert B.E. Cytological damage produced in the mouse testes by tritiated thymidine, tritiated water and X-rays. // Health Phys., 1969, **17**, No. 4, P. 547–557.
33. Chopra C., Heddle J.A. Cytogenetic measurements of the relative biological effectiveness of tritium. Report INFO-0287. Atomic Energy Control Board, Canada 1988.
34. Kozłowski R., Bouffler S.D., Haines J.W. et al. In utero haemopoietic sensitivity to alpha, beta or X-irradiation in CBA. // Int. J. Radiat. Biol., 2001, **77**, No. 7, P. 805–815.
35. Furchner J.E. Relative biological effectiveness of tritium beta-particles and cobalt 60 gamma-rays measured by lethality in CF1 mice. // Radiat. Res., 1957, **6**, No. 4, P.483–490.
36. Dobson R.L., Kwan T.C. The tritium RBE at low level exposure-variation with dose, dose rate and exposure duration. // Curr. Top. Radiat. Res. Q., 1978, **12**, No. 1–4, P. 44–62.
37. Ijiri K. Cell death (apoptosis) in mouse intestine after continuous irradiation with gamma rays and with beta rays from tritiated water. // Radiat. Res., 1989, **118**, No. 1, P.180–191.
38. Satow Y., Hori H., Lee J-Y. et al. Effect of tritiated water on female germ cells: mouse oocytes killing and RBE. // Int. J. Radiat. Biol., 1989, **56**, No. 3, P. 293–299.
39. Seyama T., Yamamoto O., Kinomura A. et al. Carcinogenic effects of tritiated water (HTO) in mice: in comparison to those of neutrons and gamma-rays. // Radiat. Res., 1991, **32**, No. 2, P. 132–142.
40. Prosser J.S., Lloyd D.C., Edwards A.A. et al. The induction of chromosome aberrations in human lymphocytes by exposure to tritiated water. // Radiat. Protect Dosimetry, 1983, **4**, No. 1, P. 21–26.
41. Vulpis N. The induction of chromosome aberrations in human lymphocytes by *in vitro* irradiation with β particles from tritiated water. // Radiat. Res., 1984, **97**, No. 3, P. 511–518.
42. Little J.B. Induction of neoplastic transformation by low dose rate exposure to tritiated water. // Radiat. Res., 1986, **107**, No. 2, P. 225–233.
43. Kamiguchi Y., Tateno H., Mikamo K. Dose–response relationship for the induction of structural chromosome aberrations in human spermatozoa after *in vitro* exposure to tritium β -rays. // Mutat. Res., 1990, **228**, No. 2, P. 125–131.
44. Kamiguchi Y., Tateno H., Mikamo K. Types of structural chromosome aberrations and their incidences in human spermatozoa X-irradiated *in vitro*. // Mutat. Res., 1990, **228**, No. 2, P. 133–140.
45. Tanaka K., Sawada S., Kamada N. Relative biological effectiveness and dose rate effect of tritiated water on chromosomes in human lymphocytes and bone marrow cells. // Mutat. Res., 1994, **323**, No. 1–2, P. 53–61.
46. Миловидова И.А. Определение латентного периода лучевых катаракт. // Мед. Радиол., 1981, № 9, С. 52–56.
47. Moghissi A.A., Carter M.W., Lieberman R. Long-term evaluation of the biological half-life of tritium. // Health Phys., 1971, **21**, No. 1, P. 57–60.
48. Rochalska M., Szot Z. The incorporation of organically-bound tritium of food into some organs of the rat. // Int. J. Radiat. Biol. Relat. Stud. Phys. Chem. Med., 1977, **31**, No. 4, P. 391–395.
49. Sanders S.M. Jr., Reinig W.C. Assessment of tritium in man. // In: “Diagnosis and Treatment of Deposited Radionuclides”. — Excerpta Medica Foundation, Amsterdam, 1968, P. 534–542.
50. Komatsu K., Okumura Y., Sakamoto K. Radiation dose to mouse liver cells from ingestion of tritiated food or water. // Health Phys., 1990, **58**, No. 5, P. 625–629.

51. National Council on Radiation Protection and Measurements. Tritium and other radionuclide labelled organic compounds incorporated into genetic material. NCRP Report No. 63, 1979.
52. Foy J.M., Schnieden H. Estimation of total body water (virtual tritium space) in the rat, cat, rabbit, guinea-pig and man, and of the biological half-life of tritium in man. // J. Physiol., 1960, **154**, No. 1, P. 169–176.
53. Straume T., Carsten A.L. Tritium radiobiology and relative biological effectiveness. // Health Phys., 1993, **65**, No. 6, P. 657–672.
54. Zamenhof S., van Marthens E. The effects of chronic ingestion of tritiated water on prenatal brain development. // Radiat. Res., 1979, **77**, No. 1, P. 117–127.
55. Furuno-Fukushi I., Ueno A.M., Matsudaira H. Cell killing and mutation to 6-thioguanine resistance after exposure to tritiated amino acids and tritiated thymidine in cultured mammalian cells (L5178Y).
56. Myers D.K., Johnson J.R. Toxicity and dosimetry of tritium: a review. INFO-0377. Atomic Energy Control Board, Advisory Committee on Radiological Protection, Canada 1991.
57. Feinendegen L.E., Bond V.P. Transmutation versus beta irradiation in the pathological effects of tritium decay. // In: Tritium. Moghissi A.A. Carter M.W., eds. — Nevada, Messenger Graphics, 1971, P. 221–232.
58. Цанков М.М. Влияние факторов нерадиационной природы на кинетику обмена и биологическое действие оксида трития. Автореф. канд. дисс. биол. наук. — Обнинск: 1982.

Поступила: 25.04.2013

Принята к публикации: 03.12.2013



Калистратова Валентина Сергеевна является одним из выдающихся учёных в области токсикологии инкорпорированных радионуклидов. Закончив с отличием медицинскую академию им. И.М. Сеченова, затем аспирантуру в Институте биофизики, она осталась верна выбранной профессии до настоящего времени.

Доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, член рабочего и диссертационного Совета ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, она 23 года возглавляла коллектив лаборатории токсикологии инкорпорированных радионуклидов. Основным направлением научных работ В.С. Калистратовой является изучение закономерностей биологического действия радионуклидов на организм животных и человека, изучение совместного действия факторов лучевой и нелучевой природы, оценка риска взаимодействия внутреннего облучения на здоровье человека, профилактика и прогноз отдаленных последствий, вызванных радиацией. В последние годы она особое внимание уделяла изучению биологических эффектов малых доз ионизирующего излучения. Итогом этой работы явились монографии,

опубликованные в соавторстве с Л.А. Булдаковым и П.Г. Нисимовым – «Радиоактивное излучение и здоровье» (2003 г.), «Радиационное воздействие на организм – положительные эффекты» (2005 г.) и «Проблема порога при действии ионизирующего излучения на организм животных и человека» (2010 г.). Под её редакцией в 2013 г. вышла книга «Радиобиология инкорпорированных радионуклидов», в которой подведены итоги достижений за 50-летний период в области токсикологии радиоактивных веществ. Всего В.С. Калистратовой опубликовано свыше 250 научных работ, включая 12 монографий, справочников и сборников, которые стали настольными книгами по оценке опасности радионуклидов не только для специалистов, но и для людей, не связанных с атомными технологиями.

Научные труды В.С. Калистратовой широко известны не только в России, но и за рубежом. Результаты исследований В.С. Калистратовой неоднократно обсуждались на международных конференциях, радиобиологических съездах, а ряд научных исследований выполнялся при поддержке Международного научно-технического центра. Валентина Сергеевна большое внимание уделяет научно-организационной и педагогической работе, являясь членом экзаменационной и аттестационной комиссии аспирантов и соискателей ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, является профессором кафедры радиационной медицины.

За время работы неоднократно отмечалась благодарностями по институту, главку, Министерству. Награждена знаком отличия «Ветеран атомной энергетики и промышленности», нагрудным знаком «Бурназян».

Е.М. Мелихова**СОЦИАЛЬНАЯ ПРИЕМЛЕМОСТЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И МОРАЛЬНЫЕ ДИЛЕММЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ****E. Melikhova****Social Acceptability of Nuclear Power and Moral Dilemmas of Radiation Protection**

РЕФЕРАТ

Наблюдающаяся в большинстве европейских стран поляризация общественного мнения по вопросу о будущем атомной энергетики, как и стабильная негативная реакция большинства российских жителей на предложение построить по соседству АЭС свидетельствуют о том, что общественная дискуссия по этой теме зашла в тупик. По мнению бельгийского философа Г. Мескенса, причина в том, что наиболее обсуждаемые темы — тяжелые аварии, радиоактивные отходы, нераспространение — связаны с рисками, а социальная приемлемость риска подразумевает его моральную приемлемость. Для выхода из тупика профессиональному атомному сообществу нужно изучить, на каких ценностных установках базируются предъявляемые ими аргументы, и перейти от деклараций «открытости и прозрачности» к этической рефлексии в публичном пространстве.

Следуя этой логике, мы предлагаем начать с изучения моральных проблем, связанных с регулированием радиационного риска в области малых доз. Профессиональное радиологическое сообщество уже несколько лет работает над построением этической концепции радиационной защиты. Однако до сих пор моральные аспекты использования принципа ALARA и линейной беспороговой (ЛБП) гипотезы рассматривались только в профессиональном кругу. В работе показано, что использование ЛБП гипотезы, равно как и отказ от нее в пользу «практического порога вредного действия радиации» могут быть морально обоснованы, и выбор между этими альтернативами затрагивает интересы множества людей за пределами профессионального круга. Такого рода моральные дилеммы не могут быть решены профессионалами, это предмет другой науки — прикладной этики.

Привлечение философов морали к анализу ЛБП-дилеммы и других моральных проблем радиационной защиты нужно профессионалам для того, чтобы сформировать научно-корректную этическую платформу для общественных дискуссий, обеспечить строгую аргументацию и ясность. В дальнейшем сотрудничающие с профильными специалистами философы могут играть ключевую роль в публичной рефлексии, участвовать в работе этических комитетов, которые все чаще используются органами власти для принятия моральных решений в экстремальных ситуациях.

Ключевые слова: атомная энергетика, диалог с общественностью, риски, публичная рефлексия, радиационная защита, линейная беспороговая гипотеза, нравственные ценности, прикладная этика

ABSTRACT

Long-term polarization of public opinion regarding the future of nuclear power in many EU countries as well as stable opposition by the Russian residents to a proposal for a new NPP building close to them indicates that the public dialogue came to a deadlock. The reason, according to Belgian philosopher Gaston Meskens, is that the key issues of the public discussion such as severe accidents, nuclear waste and non-proliferation are nearly related to risks, and social acceptability of risk means its moral acceptability. To break the deadlock the nuclear professionals need to study moral values underlying their arguments and turn from declarations of “openness and transparency” to public reflexivity with regard to the moral issues.

Following this logic we suggest to start with the ethical studies of radiation safety approach. In recent years radiological community has been showing an interest for formalization of the ethical principles that underpin the system of radiation protection. Among a number of moral problems in the field there is a dilemma most appropriate for public reflexivity — ALARA principle along with the linear no-threshold (LNT) model. Use of LNT model in low-dose range is morally right in deontological ethics (ethics of duty) while rejection of LNT model is morally right from the point of utilitarian ethics.

LNT is a matter of sharp scholarly disputes. However the moral dilemma of such type can't be solved within professional community. If a dilemma affects interests of many people outside the professional circle it is a case for applied ethics. Collaboration between radiation protectors and moral philosophers in conceptualization and analysis of LNT dilemma and other moral problems of radiation safety approach is needed to provide scientifically grounded platform for constructive public discussions, strict and clear argumentation. Those moral philosophers might be engaged in the public reflexivity, participate in ethical commissions which become rather popular among authorities as decision making advisors in extreme and complicated circumstances.

Key words: nuclear power, public dialogue, risks, public reflexivity, radiation protection, linear non-threshold hypothesis, moral values, applied ethics

Введение

В сентябре 2013 г. в Японии, в одной из самых технологически развитых стран мира, по решению правительства был заглушен последний из 52 атомных реакторов. Решение было принято под давлением общественности, напуганной сначала радиоактивными

выбросами в атмосферу в острый период аварии на АЭС Фукусима в 2011 г., а позже — сбросами больших объемов радиоактивной воды в океан.

В то же время правительства 154 стран, включая Россию, подтвердили свои намерения строить новые АЭС. Снижение уровня общественной при-

емлемости атомных технологий после японской аварии было кратковременным. Уже через год после аварии в Великобритании, Нидерландах, Испании, Швейцарии и Франции общественная поддержка атомной отрасли восстановилась до прежнего уровня и число сторонников использования / развития атомных технологий снова сравнялось с числом противников [1]. Такая поляризация общественного мнения в Евросоюзе наблюдается с начала 2000-х. Социологи считают это свидетельством того, что общественный диалог зашел в тупик.

В России пропорцию между сторонниками и противниками развития атомных технологий отслеживают разные социологические компании – ВЦИОМ, ФОМ, Левада-центр. Они задают разные вопросы, и пропорции получаются разные (рис. 1, 2, 3а). Но распределение ответов на вопрос о строительстве атомной станции рядом с местом проживания у всех

компаний практически одинаково: подавляющее большинство респондентов (75–80 %) не хотят иметь у себя под боком атомную станцию (рис. 3б и 4). Этот негативизм, видимо, во многом обусловлен тем, как в общественном мнении зафиксированы радиационные последствия чернобыльской и фукусимской аварий [2].

Таким образом, в России ситуация с восприятием радиационного риска, а, следовательно, и с общественной приемлемостью атомной энергетики, тоже тупиковая. В этой связи российским специалистам, участвующим в диалоге с общественностью по вопросам радиационной безопасности, полезно познакомиться с выводами европейских социальных философов, которые в последние годы вместе со специалистами атомной индустрии ищут выход из тупика.

Вопрос: В целом вы одобряете или не одобряете использование атомной энергии как один из способов обеспечения электроэнергией нашей страны?

Доля ответов в % из числа опрошенных

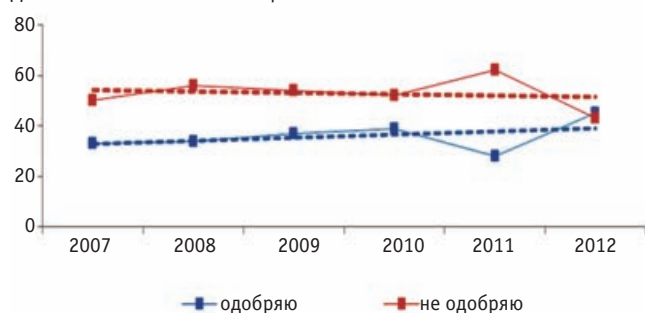


Рис. 1. Результаты опросов исследовательской группы Циркон (1600 респондентов в 140 населенных пунктах 33 субъектов РФ всех федеральных округов) [3]

Вопрос: Как вы считаете, атомную энергетику следует активно развивать, сохранить на нынешнем уровне, сворачивать или совершенно отказаться от нее?

Доля ответов в % из числа опрошенных

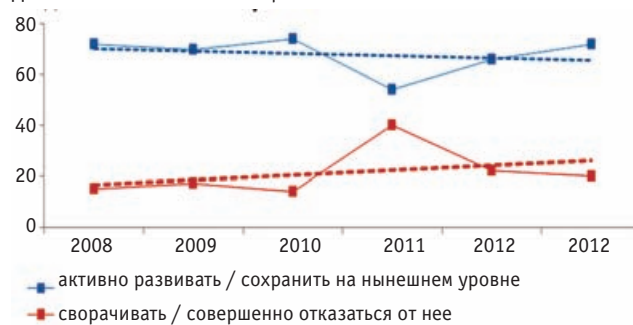


Рис. 2. Результаты опросов Левада-центра (1601 человек в 130 населенных пунктах 45 регионов страны, погрешность выборки 3,4 %) [4]

Вопрос: Как вам кажется, следует ли России развивать атомную энергетику или нет?

Доля ответов в % из числа опрошенных

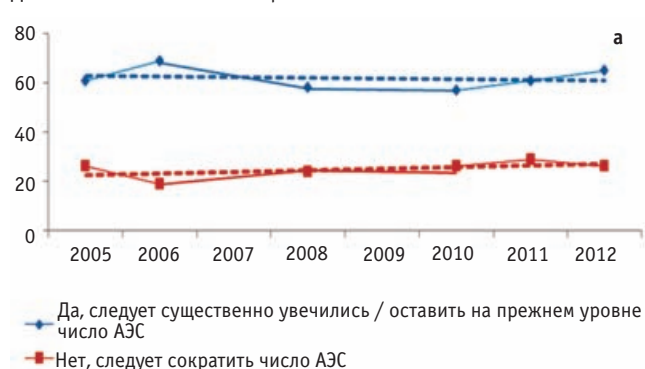


Рис. 3. Результаты опросов ВЦИОМ (1600 человек в 153 населенных пунктах в 46 субъектах РФ, погрешность выборки 3,4 %) [5]

Вопрос: Есть информация, что в нашем регионе планируют построить атомную электростанцию. Вы поддерживаете или не поддерживаете эту идею?

Доля ответов в % из числа опрошенных



Вопрос: Если бы вблизи нашего города (села) решили построить атомную электростанцию, как бы вы к этому отнеслись?
Доля ответов в % из числа опрошенных



Рис. 4. Результаты опроса ФОМ (1500 респондентов, более 100 населенных пунктов в 44 субъектах РФ, погрешность выборки 3,6 %) [6]

От философии ядерной безопасности к прикладной этике

В России профессионалы атомной отрасли и философы пока не нашли общего языка. В начале 1990-х начала развиваться философия ядерной безопасности, российские философы, как и западные коллеги, рассматривали атомную индустрию исключительно в связке с «феноменом ядерного оружия» и единодушно приходили к выводу, что «атомный век — это во всех ипостасях век смертельной угрозы жизни» [7]. В тех редких случаях, когда сама атомная энергетика анализировалась с моральных позиций, она также признавалась антигуманной: «решения специалистов-атомщиков формируют облик энергетики будущего, который не сулит обществу ничего хорошего. А усилиями критиков атомной энергетики конструируется некий общественный интеллектуальный барьер, препятствующий инфильтрации в общественное сознание техно-бюрократического образа мышления» [7]. С конца 1990-х и до настоящего времени российские философы держатся в стороне от «ядерных проблем социума» [9].

На Западе в последнее десятилетие в связи с новыми достижениями биомедицины (клонирование, пересадка органов, суррогатное материнство и т.д.) активно развивается биоэтика. Появились и другие направления прикладной этики, например, инженерная этика (этика техногенных рисков) [10]. В 1999 г. в Евросоюзе стартовала программа интеграции общественных наук в ядерные исследования (PISA). В качестве примера сотрудничества можно привести создание в бельгийском Центре ядерных исследований SCK-CEN междисциплинарной группы по изучению этических аспектов радиационной защиты.

Один из участников группы, социальный философ Гастон Мескенс (Gaston Meskens), проанализировав причины стагнации общественного диалога по вопросам атомной энергетики, предложил

профессионалам атомной отрасли и их оппонентам перейти от обсуждения научных фактов к публичной рефлексии по поводу моральных ценностей. Идея была озвучена на ежегодной конференции «ядерных коммуникаторов» PIME (Public Information Materials Exchange) в феврале 2012 г. [11]. С разрешения д-ра Мескенса, мы представим его основные тезисы и рекомендации в следующем разделе, а здесь проиллюстрируем ключевую роль, которую могут играть современные этические институты в принятии решений о будущем ядерной энергетики.

В конце марта 2011 г. во время аварии на Фукусиме под мощным давлением общественности правительство Германии во главе с канцлером Ангелой Меркель должно было вынести решение о будущем национальной атомной энергетики. Правительство предложило оценить состояние немецких АЭС постоянно действующей комиссии по безопасности ядерных реакторов (RSK). Кроме того, правительство сформировало комиссию по этике — Совет мудрейших [12].

Проведя углубленный анализ безопасности всех 17 немецких АЭС, эксперты RSK сделали вывод, что реакторы безопасны и могут работать дальше, и рекомендовали защитить реакторы на случай падения небольшого самолета и модернизировать старые реакторы, введенные в эксплуатацию до 1980 г. Выводы RSK были переданы в комиссию по этике. В состав комиссии входили известные политики, общественные деятели, представители бизнеса и церкви, в их числе социолог, занимающийся исследованием рисков, и мюнхенский кардинал. Заседания комиссии были открыты для публики. В основном на заседаниях говорили о риске тяжелых аварий на АЭС, об их огромной цене для следующих поколений и о неприемлемости вероятных генетических последствий облучения. Совет мудрейших рекомендовал правительству как можно скорее заменить атомные станции другими источниками энергии с меньшим риском [13].

Правительство Германии последовало этому совету и вернулось к ранее действовавшей программе сворачивания атомной энергетики, пообещав вывести из эксплуатации все ядерные реакторы к 2022 г. 30 июня 2011 г. Бундестаг принял соответствующий закон.

О необходимости публичной рефлексии

В отношении социальной приемлемости атомных технологий лидеры мнений были разделены на два лагеря с самого начала атомной эры. Но позиции сторон со временем не сближаются.

В информационном поле представлены две четко поляризованные позиции — pro (представители атомной науки и техники) и contra («зеленые»). Все

свои аргументы стороны давно предъявили, и каждая остается при своем мнении. У обоих лагерей есть непересекающиеся «зоны комфорта», которые сохраняются благодаря стратегическим и часто популистским упрощениям доводов «за» и «против».

Дискуссия между сторонниками и противниками атомной энергетики сегодня базируется не на противопоставлении рационального и эмоционального — обе стороны используют логически отстроенную (рациональную) аргументацию. Ни те, ни другие не делают попыток убедить друг друга, а обращаются напрямую к общественности.

Атомное сообщество пытается доказать общественности, что знает, как лучше. Антиядерные активисты позиционируют себя как представители интересов самой общественности. В то же время политические лидеры разных стран остаются «сбитыми с толку» в ядерных вопросах. Сегодня они видят прямо противоположные мнения о роли атомной энергетики в изменении климата и устойчивом развитии (см. табл. 1).

Противоречия по вопросам №№ 1, 2 и 3 в принципе могут быть сняты «третьей стороной» в понятной, открытой и прозрачной дискуссии со сторонниками и противниками. «Третьей стороной» должен дать беспристрастную оценку ситуации, получив необходимые данные и используя причинно-следственный подход (хотя это очень непросто для дилетанта, каким является «третьей стороной»). Он должен сравнить разные позиции и попытаться установить, почему они различны. После этого можно достигнуть согласия между всеми заинтересованными сторонами относительно «консенсусной» базы знаний и информационной политики по данному вопросу. Полученная таким образом беспристрастная оценка будет подкреплена общественным доверием, поскольку она базируется на взвешенном и всестороннем методе исследования, а не на том или ином наборе научных фактов, как это происходит сейчас. По темам №№ 1, 2 и 3 атомную энергетику вполне

возможно сравнивать с другими источниками энергии. «Консенсусное» мнение может постоянно адаптироваться; даже если сначала оно будет ошибочным, это не так страшно.

Для снятия противоречий по вопросам №№ 4, 5 и 6 публичное предъявление методологии исследований также необходимо, но его недостаточно для формирования общественного доверия. Дело в том, что все три темы связаны с риском, который нужно контролировать. Но есть существенные факторы, неподконтрольные человеку, такие как человеческая культура, природа, время. Невозможно рассудить, кто из оппонентов прав, поскольку при этом приходится обсуждать нравственные ценности. По аспектам, связанным с безопасностью, атомную энергетику, за которой, хотим мы этого или не хотим, стоит ядерное оружие, нельзя сравнивать с другими энерготехнологиями.

На самом деле выводы, которые делают сторонники и противники атомных технологий по вопросам безопасности (включая нераспространение), зависят от базовых ценностей, на которых строится их осознание мира, себя и происходящих событий. Например, от того, насколько они согласны с тем, что

- ...природа — это ресурс для использования
- ...рынки должны быть свободными
- ...существование монополистов на рынке приемлемо
- ...техника может быть надежной
- ...люди могут вести себя надежно
- ...будущие поколения должны иметь свободу выбора
- ...Иран говорит правду о себе
- ...США говорят правду об Иране

Поэтому в ходе общественного обсуждения вопросов безопасности всякий раз оказывается невозможным прийти к общему знаменателю не только по поводу базы знаний, но также по поводу пределов, до которых мы согласны с приведенными выше утверждениями.

Таблица 1

Мнения о роли атомной энергетики

№	Сторонники	Противники
1	Устойчивость и надежность рынка урана	Ограниченные запасы ^{235}U
2	Низкий уровень выбросов углекислого газа в ядерно-топливном цикле (ЯТЦ)	Значительно недооцененные выбросы углекислого газа
3	Конкурентная текущая цена атомного электричества	Бюджетные дотации для отрасли, недостаточное обеспечение заключительных стадий ЯТЦ (backend)
4	Высокий уровень безопасности действующих и строящихся АЭС	Три-Майл-Айленд, Чернобыль, Фукусима; старые станции, человеческий фактор, стихийные бедствия
5	Замкнутый ЯТЦ может обеспечить нераспространение	Угроза распространения технологий двойного назначения (войны, нестабильные режимы, примеры распространения, терроризм)
6	Хорошо проработанные решения в области захоронения отходов	Технические решения не проверены на практике, сомнительные социальные решения

Можно резюмировать, что качественные научные исследования, надежная культура безопасности, прозрачность информации являются необходимыми, но недостаточными условиями для формирования социального доверия. Политические решения в вопросах, связанных с безопасностью ядерных технологий, будут зависеть от «мнений, которые нельзя превратить в факты». Политические решения в этих случаях могут быть рационально-политическими, но не рационально-научными. А социальная приемлемость риска, связанного с атомными технологиями, подразумевает его моральную приемлемость.

Что в этой ситуации можно сделать? Сначала заинтересованные стороны должны согласиться с тем, что необходимо изучить, на каких ценностных установках базируются предъявляемые ими выводы. Затем они должны совместно обсудить знания о моральных ценностях друг друга. То есть все стороны должны принять участие в рефлексии в публичном пространстве. Публичная рефлексия такого рода подразумевает, что ученые, инженеры, управленцы, политики, активисты, граждане, коммуникаторы публично обсуждают не факты, опасения и интересы, а то, во что они верят, но не могут доказать, и то, на что они надеются, но не могут гарантировать.

В информационном поле, генерируемом сегодня профессиональным атомным сообществом, пока никаких признаков публичной рефлексии не наблюдается. Например, генеральный директор Центра бельгийского ядерного научного центра SCK-CEN, рассказывая на сайте своего Центра о перспективах трансмутации, утверждает, что «благодаря новому типу реактора подземное хранение потребуется только на несколько сотен лет». На сайте FORATOM читаем: «... Фукусима, вероятно, окажет некоторое влияние на стоимость и сроки нового строительства в ближайшее время, но не станет решающим фактором, влияющим на долю атомной энергетики в долгосрочном периоде...». Ни то, ни другое утверждение невозможно проверить, и за каждым из них скрываются определенные ценностные допущения.

Проводимая сегодня атомным сообществом «открытая и прозрачная» коммуникация на самом деле предназначена только для «объяснения» и «обучения». Такой подход обречен на провал с самого начала. Возможно, нравоучительно-покровительственный тон в последние годы был сглажен, но суть дела от этого не меняется. Декларации «открытости и прозрачности» свидетельствуют о готовности слушать, но не о готовности к рефлексии по поводу исходных оснований своей доказательной базы. Стратегические коммуникации, нацеленные на повышение социальной приемлемости атомных технологий, на самом деле, как мы видим из многочисленных примеров,

закрывают возможность дискуссии даже до того, как появляется «другая сторона» (поскольку на самом деле транслируется следующее: мы знаем все ответы).

Цель публичной рефлексии определенно состоит в том, чтобы предоставить возможность для открытой дискуссии. Единственный путь добиться доверия информированного гражданского общества — это перейти от «стратегических коммуникаций» к рефлексии в публичном пространстве.

Становление этики радиационной защиты

В общественной дискуссии о приемлемости атомной энергетики одним из центральных является вопрос о радиационном риске. Политики, представители бизнеса, церкви, философы и социологи рассуждают о радиационном риске на языке этики. В связи с этим профессиональное радиологическое сообщество начало развивать этику радиационной защиты.

В 2007 г. Комитет по радиационной защите и здоровью населения при Агентстве по атомной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (CRPPH NEA OECD) опубликовал доклад «Научные аспекты и новые вызовы для радиационной защиты» и провел три международных семинара для ученых и представителей регулирующих органов по теме «Наука и ценности в радиационной защите» [14, 15]. В октябре 2011 г. Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) создала (в рамках Комитета № 4) рабочую группу по подготовке к 2016 г. публикации по этике радиационной защиты.

В настоящее время у МКРЗ нет формальной концепции этических принципов, заложенных в систему радиационной защиты, хотя эти принципы, безусловно, имеются. До последнего времени ведущие эксперты МКРЗ пытались разобраться в этике самостоятельно, без участия философов морали. Например, Абель Гонзалес пришел к выводу, что три принципа радиационной защиты (обоснование, оптимизация и нормирование), а также пронизывающий всю систему регулирования принцип предусмотрительности базируются на четырех базовых этических доктринах [16, 17] (см. табл. 2).

Хотя телеологическая и деонтологическая доктрины конкурируют между собой, Гонзалес гордится тем, что в системе радиационной защиты они гармонизированы и применяются вместе. Например, процесс оптимизации защиты разработан для применения в ситуациях облучения, которое считается обоснованным. Тот же принцип оптимизации защиты устанавливает определенные ограничения на величину индивидуальной дозы или риска.

Несколько иначе видит связь принципов радиационной защиты и этики другой член МКРЗ —

Таблица 2

Принципы и доктрины радиационной защиты

№	Радиационная защита	Этические системы
1	Принцип обоснования: любое решение, приводящее к изменению ситуации облучения, должно давать больше пользы, чем вреда	Телеологическая этика: цель оправдывает средства
2	Принцип оптимизации: достижение наилучшего уровня защиты в преобладающих обстоятельствах	Утилитаристская этика (телеологическая): максимальная польза для наибольшего числа людей
3	Принцип ограничения индивидуальной дозы	Деонтологическая этика (этика долга): делай другим то, что они сделали бы для себя сами (делай что должно)
4	Предусмотрительность в отношении других поколений и окружающей среды	Этика добродетели: будь добрым к другим как к себе

француз Жак Лошар [18]. Он считает, что принцип обоснования соответствует этике добродетели. Предусмотрительность он определяет как учет неопределенностей с помощью линейной беспороговой (ЛБП) гипотезы, а ограничение индивидуальных доз — как способ устранения неизбежной несправедливости в распределении дозовых нагрузок. Сопряжение этических принципов применительно к радиационной защите Жак Лошар видит так: уважение к правам индивидуума (этика долга), содействие коллективным интересам (утилитаристская этика) и внимание к мудрости и проницательности (этика достоинства).

Со стороны прикладной этики наметилось встречное движение. В 2007 г. свой анализ моральных оснований радиационной защиты, зафиксированных в Публикации МКРЗ № 60 (1991), предложил шведский философ Свен Хэнсон [19]. Его иллюстрации трех базовых типов этики, которые соответствуют трем принципам радиационной защиты, показаны на рис. 5.

Первый этический подход воплощают весы. Чтобы дать моральную оценку альтернативным решениям, нужно взвесить пользу и вред для каждого варианта и выбрать тот, для которого чистая польза будет максимальной (утилитаризм). Принцип оптимизации защиты является утилитаристским.

Второй подход иллюстрирует забор. Обучая детей этичному поведению, мы говорим, что есть пределы,

за которые заходить нельзя. Например, нельзя лгать, даже если правда может кому-то повредить. Это — деонтологическая этика (этика долга). Принцип превышения дозовых пределов в радиационной защите соответствует этике долга.

Третий подход можно изобразить как компас. Этическое поведение человека должно определяться его внутренним моральным компасом, человека должен чувствовать, когда он делает добро, а когда — зло. Это этика добродетели. В радиационной защите ей соответствует принцип обоснования.

Хэнсон отмечает, что моральные философы, придерживающиеся разных этических концепций, никогда не могут договориться. В радиационной защите, по его наблюдениям, профессионалы каким-то удивительным образом сочетают все три конкурирующих принципа. Однако дальше этой констатации Свен Хэнсон не идет [19].

Получается, что радиологическое сообщество может гордиться тем, что умеет сочетать несочетаемое? Но так ли это на самом деле?

В работе 2012 г. другого шведского философа Викмэн-Свана показано, что примат принципа ограничения индивидуальной дозы над принципами оптимизации и обоснования не снимает всех этических противоречий [20]. Мы не будем приводить здесь его аргументацию, а напомним читателю о моральной дилемме, которая хорошо известна каждому специалисту по радиационной защите.

Речь идет о непоследовательности в определении критериев вмешательства при радиационной аварии и в условиях нормальной эксплуатации. В первом случае признается существование порога вредного действия радиации, во втором используется ЛБП-гипотеза, причем только в отношении техногенных источников облучения.

Моральная дилемма радиационной защиты

О необоснованной жесткости радиационных нормативов в области малых доз и связанных с этим

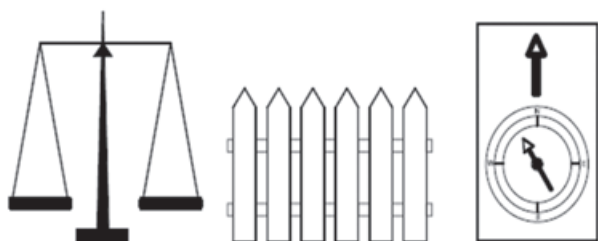


Рис. 5. Три типа мышления (thought patterns) в моральной философии [19]

морально-этических проблемах специалисты говорят уже давно. Еще в 1980 г. на этот счет довольно резко высказался бывший президент Американского совета по радиационной защите и измерениям Л. Тэйлор (Taylor): расчеты риска смерти от рентгеновской диагностики, выполненные на основе ЛБП-модели, представляют собой «глубоко аморальное использование нашего научного наследия» [21]. В последнее десятилетие критика ЛБП-гипотезы усилилась. Многие профессионалы согласны с тем, что эта модель «является величайшим научным скандалом современности», что она строится не на научном фундаменте, а исходит из политических резонов и общественной обеспокоенности [22]. Они утверждают, что применение ЛБП-гипотезы на практике создает угрозу для здоровья населения [23, 24].

Во-первых, гипертрофированный страх перед малыми дозами облучения может навредить здоровью больше, чем сама радиация. Во-вторых, средства, затрачиваемые на снижение и без того пренебрежимо малого радиационного риска, можно было бы использовать с большей пользой. Согласно современным «расценкам», предотвращение одного смертельного радиационно-индуцированного рака стоит 1,1 млрд долларов США, в то время как спасение одной человеческой жизни в среднем обходится (в США) в 7–70 млн долларов США. То есть, спасая одну статистическую человеческую жизнь с помощью сверхжестких радиационных нормативов (в предположении о правильности ЛБП-гипотезы), мы совершаем 15–150 «статистических убийств». Есть и еще несколько негативных аспектов [22, 25]:

- Американские врачи все чаще сталкиваются с тем, что из-за страха перед облучением некоторые пациенты отказываются от крайне важной для них «радиационной» диагностики.
- Сверхжесткие нормативы делают общество уязвимым перед «радиационным терроризмом».
- При радиационной аварии из предосторожности должностные лица склонны применять неоправданные защитные меры, из-за чего многократно возрастает масштаб социально-экономических последствий.

Таким образом, использование ЛБП-гипотезы, воплощающей принцип предусмотрительности («благоговение перед жизнью»), вступает в противоречие с принципом обоснования (больше пользы, чем вреда). Это закономерно, поскольку утилитаризм по определению конкурирует с деонтологической этикой. Утилитаризм, как и любая телеологическая теория, содержит в себе потенциал жертвования индивидуальными правами ради достижения цели. В деонтологической теории главная задача сводится к

тому, чтобы гарантировать, что человеку не придется жертвовать чем-то ради некоего блага.

Ситуацию с ЛБП-гипотезой можно отнести к моральным дилеммам, то есть к проблемам, которые не имеют простого и однозначного решения, в которых содержатся более или менее равнозначные и обоснованные альтернативы, причем ни одна из них не является безупречной с моральной точки зрения.

Как утверждают философы, моральные дилеммы не решаются внутри профессионального сообщества [26]. Поэтому обвинения, выдвигаемые оппонентами ЛБП-модели против «бюрократов от радиационной защиты» в замалчивании данных и теорий, противоречащих ЛБП, в предательстве интересов науки и т.п., [22, 24, 25] бесперспективны. Моральные дилеммы затрагивают интересы тех, кто находится вне профессионального сообщества, — населения и регуляторов. То есть речь идет не о профессиональной этике, а о другой, оборотной стороне деятельности профессионалов, которую необходимо контролировать (и ограничивать) извне. Именно поэтому в этические комитеты, создаваемые правительствами многих стран, включены философы, этики, юристы, представители общественности, городских властей, экологов, но не сами профессионалы [26].

Однако без профессионалов можно обойтись только после корректного перевода подходов и принципов радиационной защиты на язык прикладной этики. В противном случае философы могут перевернуть все с ног на голову. В качестве примера приведем рассуждения бывшей журналистки, беллетриста и народного депутата, а ныне «остепененного» философа Аллы Ярошинской [27]:

«Сегодня в мире существуют два диаметрально противоположных подхода к проблеме риска ядерной безопасности. ... Один из подходов основан на том, что любая привнесенная извне радиационная доза несет риск заболевания. ...Этой научной и глубоко нравственной международной концепции в отечественной науке, прежде всего в официальной радиобиологии, противопоставляется пороговая концепция допустимого радиационного риска. ... Если беспороговая концепция исповедует благоговение перед человеческой жизнью, то пороговая сознательно допускает некое “оптимальное”, “статистически незначительное” в свете закона больших чисел количество возможных человеческих жертв. То есть первую можно определить как “концепцию недопустимости жертв”, вторую — как “концепцию допустимых жертв”».

Алле Ярошинской, видимо, никто из профильных специалистов не объяснил, что и у «концепции недопустимости жертв» тоже есть моральные изъяны, что существует природный радиационный фон, что

диапазон его вариаций достаточно велик и что данная концепция это почему-то игнорирует.

Для корректного перевода подходов и принципов радиационной защиты на язык прикладной этики необходимы серьезные междисциплинарные исследования. Это позволит исключить ошибочные этические толкования, выделить из моральных проблем, связанных с трудностями принятия решений, моральные дилеммы, и ответить на вопрос, возникают ли эти дилеммы в результате непоследовательности моральной теории или они выражают существенную особенность моральной жизни [26]. На этой научной платформе можно обеспечить высокий теоретический уровень общественных дискуссий, строгую аргументацию и ясность.

В 2012 г. в этом направлении уже двинулась большая интернациональная группа из 22 специалистов из 4 областей знания (радиационная защита и радиобиология, медицина и здравоохранение, ядерная химия, прикладная этика) [28]. В состав группы входят уже упоминавшиеся Ж. Лошар и С. Хэнсон, а также руководитель работ по подготовке официальной публикации МКРЗ по этике радиационной защиты норвежка Д. Оутон. Это позволяет надеяться, что в 2016 г. могут быть разработаны основы научной платформы для публичной рефлексии по этическим аспектам регулирования радиационного риска.

Выводы

1. Опросы общественного мнения показывают, что в ядерных странах, включая Россию, диалог с ответственностью по вопросам социальной приемлемости атомной энергетики давно зашел в тупик.
2. Такие ключевые темы общественной дискуссии, как последствия тяжелых аварий, нераспространение и окончательная изоляция радиоактивных отходов, связаны с рисками, которые нужно контролировать. Тема рисков переводит общественный диалог в плоскость обсуждения нравственных ценностей.
3. Для участия в этом обсуждении профессиональное атомное сообщество должно изучить, на каких ценностных установках базируются предъявляемые ими аргументы.
4. Тема регулирования радиационного риска наиболее подходит для начала публичной рефлексии, поскольку профессиональное радиологическое сообщество уже начало разработку этической концепции радиационной защиты.
5. Внутренние противоречия в нормативной базе в определенной степени являются отражением моральных дилемм, суть которых в конкуренции между основными этическими доктринами.

6. Совместная работа специалистов и философов морали по осознанию и анализу моральных дилемм радиационной защиты должна обеспечить научную платформу для публичных дискуссий по этическим проблемам радиационной защиты.
7. Философы, вовлеченные в анализ моральных дилемм в области регулирования радиационного риска, со временем должны стать основными участниками публичной дискуссии по поводу безопасности атомной энергетики.

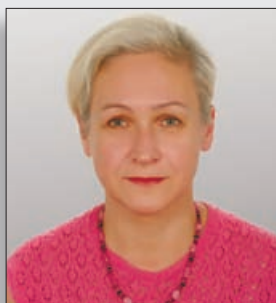
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FORATOM. What people really think about nuclear energy. <http://www.foratom.org>.
2. Мелихова Е.М., Быркина Е.М., Першина Ю.А. О некоторых механизмах социального усиления риска для здоровья при освещении в СМИ аварии на АЭС Фукусима. // Мед. радиол. и радиац. безопасность, 2013, **58**, №4, С. 5–16.
3. Пресс-релиз исследовательской группы «Циркон» от 29.06.2012 http://www.zircon.ru/upload/iblock/517/Otnoshenie_k_atomnoj_jenergetike_PR_06-2012.pdf
4. Пресс-выпуск Аналитического центра Юрия Левады «Левада-центр» от 29.03.2013 <http://www.levada.ru/29-03-2013/rossiyane-podderzhivayut-sokhranenie-i-razvitie-atomnoi-energetiki>
5. База данных «Архивариус» ВЦИОМ <http://wciom.ru/>
6. Отчет по договору с ИБРАЭ РАН «Проведение социологического исследования (включение вопросов анкету общероссийского опроса населения (ФОМнибус), проведенного Институтом фонда «Общественное мнение» в период со 5 по 9 сентября 2012 г.).
7. Романов А. Атомный век: трансмутация человечности. // В сб. «Ядерная безопасность: социогуманитарные структуры». — М., Институт философии РАН, 1998. С. 62–63.
8. Шардыко С.К. Философия атомной энергетики. // Общественные науки и современность. 1998, №2, С. 152–161. <http://ecsocman.hse.ru/data/049/148/1218/015Shardyko.pdf>
9. Комлева Е. Философские основания ядерного социума. <http://helion-ltd.ru/philosophical-base>.
10. Kuhn H. The Concept of Risk Prevention: A new Approach to the Implementation of Applied Ethics in Engineering Curricula. www.satw.ch/publikationen/schriften/ethikanhang4.pdf
11. Презентация G. Meskens. Public Reflexivity and its discomforts. Доступна только участникам конференции PIME-2012, <http://www.euronuclear.org/events/pime/pime2012/>, других публикаций этого автора по данной теме пока нет.

12. Меркель доверила атомную энергетику комиссии по этике. // Интернет-издание Lenta.Ru 22 марта 2011. <http://lenta.ru/news/2011/03/22/ethikkommision>.
13. Germany's Energy Turnaround – A Collective Effort for the Future. The Ethics Commission on a Safe Energy Supply. Berlin. 30 May 2011. <http://stophinkley.org/EngRevu/ENERGY%20TURNAROUND.pdf>.
14. Science and Values in Radiological Protection. Summary of the CRPPH Workshops held in Helsinki (2008) and Vaulx de Cernay (2009). – OECD 2011. NEA No. 6364. 63 pp. http://www.oecd-nea.org/rp/reports/2011/nea6364-Science_and_Values_in_Radiological_Protection.pdf
15. 3rd Workshop on Science and Values in Radiological Protection Decision Making and 6th Asian Conference on the Evolution of the System of Radiological Protection. Workshop 2012 summary report. Tokyo, Japan, 6–8 Nov.2012 OECD 2013. NEA/CRPPH/R (2013)5. 47 pp.
16. <http://search.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CRPPH/R%282013%295&docLanguage=En>.
17. Gonzalez A.J. Ethics in radiation protection. Presentation at 13th Int. Congress of the IRPA. SECC, Glasgow, Scotland, U.K.; May 17th, 2012. <http://s281354445.websitehome.co.uk>.
18. Gonzalez A.J. The Argentine Approach to Radiation Safety: Its Ethical Basis. Science and Technology of Nuclear Installations. 2011, Article ID 910718, 15 p. <http://www.hindawi.com/journals/stni/2011/910718/>.
19. Lochard J. Ethics and social values in the management of existing exposure situations: early reflections. Presentation at 14th European ALARA Network workshop. Sept. 4–6, 2012, Dublin, Ireland. <http://www.cepn.asso.fr/en/publications/communications/104-ethics-and-social-values-in-the-management-of-existing-exposure-situations.html>
20. Hansson S.O. Ethics and radiation protection. // J. Radiol. Prot., 2007, 27, P. 147–156. doi:10.1088/0952-4746/27/2/002. Online at stacks.iop.org/JRP/27/147.
21. Wikman-Svahn P. Ethical Aspects of Radiation Risk Management. Doctoral Thesis. KTH Stockholm 2012. USAB, Stockholm 2012. <https://www.academia.edu/1952645/>.
22. Cutter J.M. Commentary on Using LNT for Radiation Protection and Risk Assessment. // Dose Response, 2010, 8, No. 3, P. 378–383. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2939692/>
23. Maxey M.N. The LNT Hypothesis: Ethical Travesties. <http://seekerblog.com/2012/03/12/the-lnt-hypothesis-ethical-travesties>.
24. Socol Y., Yanovskiy M., Zatskovetsk I. Low-dose ionizing radiation: scientific controversy, moral-ethical aspects and public choice. // Int. J. Nucl. Governance, Economy and Ecology, 2013, 4, No. 1, P. 59–75. <http://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=53813>.
25. Kaneko M. An Evolved System of Radiological Protection. <http://irpa11.irpa.net/pdfs/2i6.pdf>
26. Аганов А.М., Новиков Г.А., Арутюнян Р.В., Мелихова Е.М. Кто помог создать чернобыльский миф? // Атомная стратегия, 2004, № 12, С. 10–12. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=191>.
27. Коновалова Л.В. Прикладная этика (по материалам западной литературы). Биоэтика и экоэтика. Выпуск 1. http://iph.ras.ru/uplfile/root/biblio/1998/Konovlova_1.pdf.
28. Ярошинская А. Ядерный риск: нравственный выбор. 2006. <http://www.rosbalt.ru/2006/06/26/258107.html>.
29. Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management. Ed. by D. Oughton and S. O. Hansson. – Elsevier. 2013, P. 389. <http://books.google.ru/books?isbn=0080914292>.

Поступила: 16.01.2014

Принята к публикации: 11.02.2014



Мелихова Елена Михайловна – выпускница кафедры биофизики физфака МГУ им. Ломоносова (1983), кандидат физ.-мат. наук (1986), заведующая Лабораторией проблем коммуникации при оценке риска ИБРАЭ РАН.

Сфера научных интересов – технические оценки радиационных рисков, медико-демографические последствия радиационных аварий, общественное восприятие радиационных рисков, методы аварийного информирования населения о радиационном риске, социальная приемлемость атомной энергетики.

В последние 10 лет была автором или соавтором 16 научных публикаций и 13 научно-популярных изданий, включая 5 образовательных компьютерных программ.

А.К. Гуськова**ЖЕНЩИНА И РАДИАЦИЯ****A.K. Gouskova****Woman and Radiation**

Радиация прочно вошла в жизнь современного человека. Каждый из нас находится в поле действия природных источников ионизирующего излучения. Величина доз, получаемых от природных источников, существенно варьирует у жителей различных регионов Земного шара и даже в пределах одной и той же страны. В среднем величина эта составляет 2–4 мЗв/год. В соответствии с этой величиной природного фона выбирается и приемлемая допустимая доза облучения для лиц, имеющих профессиональный контакт с источниками радиации или проживающих в районах с повышенным техногенным фоном.

Женщины составляют большую половину населения. В некоторых профессиях заметно преобладают женщины, где необходимы манипуляции, требующие точности. В частности, они отбирают пробы из радиоактивно загрязненных субстратов, анализируют их или контролируют обусловленные ими уровни облучения. Заметно преобладают женщины в числе медицинских рентгенорадиологов, рентгенотехников, т.е. медперсонала, работающего с источниками излучения в медицине.

Своеобразна роль женщин в обществе в целом, в том числе в восприятии среды их обитания и условий их профессиональной деятельности, а также в распространении сложившейся у них аргументации для той или иной формы поведения лиц, о которых они заботятся.

Требуют также уточнения представления о том, имеются ли какие-либо особенности в развитии биологических эффектов радиации у женщин и психологической оценки ими той или иной радиационной ситуации.

Такие общие сведения необходимы каждому практическому врачу с различной базовой специальностью. Многочисленные вопросы в этом плане адресуются интернисту, педиатру, акушеру-гинекологу, хирургу и другим врачам.

Нужно уметь правильно ответить на эти вопросы, чтобы предотвратить нежелательные и зачастую неблагоприятные решения для здоровья женщины, не имеющей научно обоснованных представлений о действии радиации на организм.

Существенной особенностью репродуктивной сферы женщины является наличие в ее организме значительного резерва клеток, периодически вступающих на путь деления и дифференцировки при возникновении беременности. Этот запас делает половой аппарат женщины более защищенным, чем репродуктивная сфера мужчин. Для последних характерны относительно невысокие дозы радиации (менее 0,5 Гр), которые могут вызвать преходящую или более стойкую стерильность с нарушением способности к оплодотворению.

Для женщин известны многочисленные примеры сохранения беременности, нормального протекания родов и рождения здорового ребенка при значительных дозах и, тем более, при дозах, находящихся в границах 0,15 Гр за период беременности.

Такого рода примеры должны быть известны врачам соответствующей специальности, и они могут быть использованы при ответе на вопросы о целесообразности сохранения беременности, с которыми женщины обращаются к соответствующим специалистам, указывая на возможный контакт с источниками излучения.

Очень необходимы практическому врачу сведения о том запасе, который имеет место при выборе приемлемых нормативов доз облучения как профессионалов, так и населения с различным уровнем природного и техногенного фона. Зачастую слова о двух-трехкратном превышении принятого норматива воспринимаются людьми как заведомая опасность действия этих доз на организм человека.

Еще одним источником ошибок в оценке действия радиации на организм является выделение это-

го фактора риска как единственного для человека и отсутствие сведений о частоте того или иного сдвига у необлучавшихся людей. Знание типично медико-демографической ситуации по заболеваемости и смертности от тех или иных причин инвалидизации должны являться прочной базой в общении врача общей практики и пациента. Так, становится совершенно очевидным, что если в целом из населения России в 142 млн. человек ежегодно уходит из жизни от разных причин 1250 тыс. человек, то аналогичные показатели убыли контингента должны быть присущи за определенный срок всем группам населения, независимо от того, облучаются они или нет. Совокупность этих сведений очень полезна и необходима каждому врачу в обеспечении адекватной информации пациенту о значимости отдельных факторов риска в его жизни.

Аналогичные сведения о числе возможных, иногда тяжелых, заболеваний, у 4–5 % рождающихся детей среди всего населения также должны быть известны врачам, чтобы не связывать эти единичные случаи с действием радиации. В настоящее время значительно увеличилось возможности определения дефектов в развитии плода, и это было показано на примере пятидневных зародышей в процессе оплодотворения в организме суррогатной матери. Удавалось и предпринять некоторые меры для предотвращения отдельных заболеваний, например, синдрома Дауна.

Очень большое значение имеет и особая роль женщины в обществе, связанная с ее функцией материнства, в широком смысле этого слова, распространяющейся на общение не только с рожденными ею детьми. Женщина-врач, женщина-педагог особо выделяется в этой группе лиц. Их точка зрения на адекватное восприятие опасности и меры по ее предотвращению особенно значима.

Следует также иметь в виду замечательные примеры женщин, чья работа в сфере использования источников ионизирующего излучения представляла определенную опасность для их жизни и дала примеры героического самопожертвования и служения людям.

Следует помнить имена Ирен и Марии Кюри, которые с первых шагов открытия радиоактивности пытались поставить источники радиации на службу людям, в первую очередь, путем их использования для медицинских целей. Сертификаты на препараты радия для медицинских учреждений подписывались лично Марией Кюри. В годы Первой мировой войны Мария и Ирен Кюри выполняли практически обязанности рентгентехников в воинских подразделениях Франции, обеспечивая работу примитивного, плохо защищенного рентгеновского аппарата, установленного на их автомашине и обслуживаемого лично ими. Именно этот этап работы явился наибо-

лее неблагоприятным для здоровья двух этих замечательных женщин, а отнюдь не работа с получением радионуклидов. Это было установлено нами совместно с замечательным французским радиопатологом Анри Жамме на основании вдумчивого анализа содержания радионуклидов в их организме и оценки военного этапа работы со значительным внешним облучением.

Следует напомнить и том, что очень многие принципиальные аспекты радиационной медицины исследовались именно женщинами-учеными. Ими была создана радиотоксикология нуклидов, патоморфология лучевой болезни, оценена эффективность ряда лечебно-профилактических средств (Н.А. Запольская, В.Н. Стрельцова, В.С. Калистратова и многие другие).

Очень велика роль в становлении радиационной гигиены замечательной женщины — ученого и организатора М.А. Неструевой, первого руководителя НИИ радиационной гигиены. Эта женщина пришла в новую область знания, располагая уникальным опытом организатора санитарной службы в блокадном Ленинграде. Она быстро вошла в новую область знаний, правильно оценила значимость кадров, пришедших на работу в институт, во многом доверяла наиболее компетентным из них (Л.А. Ильин, П.В. Рамзаев, В.П. Шамоу).

Опора на женщин-исследователей и практиков приносит ощутимые результаты и в настоящее время. Формируются кадры онкологов-радиологов, медицинских физиков, оценивающих адекватность избранных методов лучевой терапии. Делаются попытки более точно оценить размеры очага, требующего терапевтического облучения и возможные меры адекватной коррекции поля облучения и направленности пучка, используемого для тех или иных целей. Подобного рода работы в содружестве с кафедрой радиационной гигиены Института усовершенствования врачей (С.И. Иванов) проводятся, в частности, в НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко (директор А.Н. Коновалов).

Актуальной становится более точная и тонкая дифференцировка некоторых специальностей, необходимых для адекватного решения наиболее сложных проблем радиационной медицины в настоящее время. Такого рода дополнительная специализация должна быть осуществлена в рамках программ медицинских и биологических факультетов в плане совершенствования подготовки по проблемам генетики, цитологии, иммунохимии, психологии и некоторым другим аспектам современной медицины и биологии.

Следует признать неудовлетворительной организацию учебного процесса в медицинских институтах, практически не дающую сведений, пригодных для использования в рентгенорадиологии. Отдельные

сведения даются на кафедрах физики, химии, физиологии, внутренних болезней. Однако они не образуют целевую программу на завершающих этапах получения медицинского образования, хотя бы такую, которая раньше существовала на так называемой кафедре военной медицины.

Наши предложения в этом плане, адресованные руководству медицинских вузов, не получили должного отклика и не учтены в существующих ныне учебных программах.

Разделы радиационной медицины представлены в ряде кафедр Института повышения квалификации в учебном центре ФМБА России. Однако подбор слушателей для этих курсов зачастую ограничивается только сотрудниками, непосредственно работающими в учреждениях ФМБА.

В то же время элементы такого образования необходимы широкому кругу врачей, привлечение которых станет необходимым при крупномасштабной радиационной ситуации, исключить возможность которой и сегодня не представляется возможным.

Накопленный опыт уроков из имевших место радиационных ситуаций должен широко использоваться и обсуждаться в рамках национальных и международных программ с учетом своеобразия конкретной ситуации в каждой стране. Такого рода собеседования для обсуждения проводятся в МАГАТЭ и отчасти в НКДАР при ООН. Однако медико-биологические аспекты проблемы с распространением основных понятий на широкие кадры медиков, биологов и общественность различных стран нельзя признать удовлетворительным. Экраны телевидения и радио зачастую предоставляются не наиболее компетентным в проблеме научным сотрудникам, а учреждениям, преодолевающим первые шаги в изучении

проблемы и сверхактивным, но недостаточно образованным журналистам.

Очень полезен опыт Союза женщин России в изучении радиационных проблем на примере городов, градообразующими предприятиями которых являются АЭС. Заслуживают более широкой популяризации и противопоставление этих данных по г. Нововоронежу и г. Десногорску за 30–50 лет их существования ложным домыслам и малокомпетентным суждениям СМИ.

Таким образом, основными дефектами в санитарном просвещении общества в отношении атомной промышленности и энергетики является отсутствие адекватной своевременной доступной адресной информации, исходящей от компетентных к проблеме учреждений.

Недостает популярных кратких публикаций в виде специальных справочников и ответов на наиболее часто возникающие вопросы, позволяющих каждому человеку правильно оценить сопутствующую ему радиационную ситуацию и выработать в соответствии с этим наиболее адекватное поведение.

Это особенно важно в современном постиндустриальном обществе, когда не столько само событие, сколько информация о нем определяет восприятие его человеком и меры, которые он должен предпринять для минимизации возможных неблагоприятных последствий.

Роль женщин с их особым эмоционально-психологическим темпераментом и замечательными свойствами личности приобретает огромную значимость.

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

Поступила: 16.12.2013

Принята к публикации: 11.02.2014



Гуськова Ангелина Константиновна – главный научный сотрудник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАМН, заслуженный деятель науки, лауреат Ленинской премии, лауреат премии Зиверта за защиту от излучений. Член Российской научной комиссии по радиологической защите (РНKRЗ) с 1959 г., эксперт Научного комитета по действию атомной радиации при ООН с 1967 г., заслуженный деятель науки РСФСР.

Принимала участие в ликвидации последствий радиационных аварий на БУРС в 1957 г. и аварии на ЧАЭС в 1986 г.

Подготовила 40 кандидатов и 10 докторов наук.

Общее число публикаций за научную деятельность порядка 400, в том числе 11 монографий.

**Л.И. Мусабаева, В.В. Великая, О.В. Грибова, Т.Л. Кравчук,
Ж.А. Старцева**

**СЛУЧАЙ УСПЕШНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРАПИИ БЫСТРЫМИ
НЕЙТРОНАМИ У БОЛЬНОЙ НЕБЛАГОПРИЯТНОЙ
ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ С РЕФРАКТЕРНОЙ
И РЕЦИДИВИРУЮЩЕЙ ЛИМФОМОЙ ХОДЖКИНА**

**L.I. Musabaeva, V.V. Velikaya, O.V. Gribova, T.L. Kravchuk,
Zh.A. Startseva**

**A Case Report of Successful Treatment of Refractory/ Recurrent Hodgkin
Lymphoma by Fast Neutrons**

РЕФЕРАТ

Представлен клинический случай успешного применения нейтронной терапии у больной с резистентной и рецидивирующей лимфомой Ходжкина. Показанием для назначения высокоэнергетического излучения быстрых нейтронов 30-летней женщине послужила устойчивая резистентность опухолевых очагов после применения многократных курсов химио- и гамма-терапии, вследствие чего резерв их для эффективного применения был практически исчерпан. Проведение терапии быстрыми нейтронами в небольших дозах (СОД 29 и 20 изогр) оказало выраженное положительное влияние с достижением полной регрессии патологических очагов в височной области, гортани и трахеи с отсутствием лучевых реакций и повреждений нормальных тканей.

Ключевые слова: *резистентная форма лимфомы Ходжкина, курсы химио- и гамма-терапии, терапия быстрыми нейтронами*

ABSTRACT

A clinical case of resistant and recurrent Hodgkin lymphoma successfully treated with neutron therapy has been first presented. Tumor resistance to multiple courses of chemo- and gamma-therapy was the indication for administering 6.3 MeV fast neutrons to a 30-year old woman. Fast neutron therapy in low doses (total doses 29 and 20 isoGy) resulted in a favorable effect with complete tumor regression in the temporal region, larynx and trachea. No radiation-induced reactions and damages to normal tissues were observed.

Key words: *resistant Hodgkin lymphoma, chemo-and gamma-therapy, therapy by fast neutrons*

По данным различных авторов, лечение больных лимфомой Ходжкина неблагоприятной прогностической группы представляет значительные трудности. Длительное время основным методом лечения этих больных была полихимиотерапия, при которой непосредственная эффективность в виде полных ремиссий достигала 60–80 %, но пятилетняя общая выживаемость редко превышала 60 %, а свободная от рецидивов — лишь 40 % [1].

В 1980-е гг. для улучшения результатов лечения было предложено объединить в одной программе две наиболее эффективные и не обладающие перекрестной резистентностью схемы полихимиотерапии первой линии MOPP и ABVD.

Была предложена математическая модель, которая носит название модели Goldie–Coldman и описывает развитие резистентности опухолевой клетки в случае, когда используются два не обладающих перекрестной резистентностью препарата. На основании этой модели был сделан вывод, что преодолеть резистентность местно-распространенной опухоли возможно как при сокращении интервалов между введениями до 20 дней или менее, так и при увеличении

дозы лекарственных препаратов до полной суммарной курсовой дозы каждого из химиопрепаратов [2].

В начале 1990-х гг. группой исследователей была предложена новая концепция для лечения этих больных и новые программы лечения. Обе программы включали лучевую терапию в дозе 30–36 Гр на зоны исходно больших массивов и/или остаточных опухолевых масс.

В настоящее время наибольшее распространение в мире получила программа BEACOPP. Для группы больных с неблагоприятным прогнозом приоритетными становятся интенсифицированные более агрессивные программы лечения с последующей лучевой терапией на зоны исходно больших массивов и/или остаточных опухолевых масс.

Повторная ЛТ может повышать вероятность радиационных повреждений. В связи с этим оптимальным условием является получение наибольшего терапевтического эффекта при минимально необходимом объеме и суммарной дозе облучения. Рекомендуемые СОД при повторном облучении тех или иных анатомических зон варьируют от 20 до 40 Гр.

По данным Ильина Н.В., Виноградовой Ю.В. и соавт. из РНЦРХТ [3], имеет значение и временной фактор.

Цель — представить клинический случай успешного дополнительного применения терапии быстрыми нейтронами со средней энергией 6,3 МэВ для резистентных образований рецидивирующей лимфомы Ходжкина, что привело к полной их регрессии.

Больная Ш., 30 лет, находилась на лечении в НИИ онкологии СО РАМН с 2011 г. с диагнозом: лимфома Ходжкина, вариант с истощением лимфоидной ткани, с поражением всех групп лимфоузлов, средостения, печени, селезенки, КС IV В. Первично-резистентное течение. ИГХ № 15659-78 от 06.05.08: классическая лимфома Ходжкина, вариант с истощением лимфоидной ткани.

Из анамнеза: считает себя больной с октября 2007 г., когда заметила увеличение шейных лимфоузлов. Была выполнена биопсия лимфатического узла, установлен настоящий диагноз, однако от дальнейшего наблюдения и лечения у гематологов пациентка отказалась. В апреле 2008 г. была госпитализирована в отделение пульмонологии ОКБ с явлениями дыхательной недостаточности на фоне двустороннего экссудативного плеврита.

Специфическое лечение по поводу лимфомы Ходжкина (BEACOPP, BEACOPP — усил. № 2) начала получать с мая 2008 г. По данным компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки (ОГК) от 23.10.08 — слева в подмышечной области множественные лимфоузлы до 1,5 см, в надключичной области слева — конгломерат лимфоузлов размером 6×5,3×3,8 см, спускающихся в переднее средостение. В переднем средостении — множественные паравазальные лимфоузлы от 1,8 до 4 см. Очагово-инфильтративных изменений в легочной ткани не отмечено, свободной жидкости в плевральной полости не выявлено. По левому контуру перикарда несколько лимфоузлов до 1,3 см. Печень, селезенка не увеличены.

Пациентке с 2008 по 2009 г. в гематологическом отделении ОКБ г. Томска проведена ПХТ по схемам: BEACOPP, BEACOPP — усил. № 2, DEHA-BEAM № 4, DHAP № 1. Однако по данным КТ ОГК от 12.03.09 — лимфопролиферативный процесс без явной динамики.

В июне 2009 г. на базе томского онкологического диспансера проведена дистанционная гамма-терапия (ДГТ) на область шейных, надключичных лимфоузлов и лимфоузлов средостения до суммарной очаговой дозы (СОД) 40 Гр.

В ноябре 2009 г. отмечено прогрессирование процесса, получала ПХТ по схеме РЕСС. В марте 2010 г. по данным КТ ОГК незначительная положительная

динамика. Постлучевые изменения в парамедиастинальных зонах обоих легких.

В сентябре 2011 г. пациентка была направлена на консультацию к гематологу в НИИ онкологии СО РАМН. При осмотре состояние больной относительно удовлетворительное, отмечается деформация лица из-за выраженного увеличения шейно-надключичных, околоушных лимфоузлов.

С 7.09.11 по 20.09.11 г. проводилась химиотерапия (лейкеран, преднизолон, винбластин) — без динамики. К лечению добавлен дакарбазин.

После консультации радиолога и КТ — разметки (рис. 1) с 21.11.11 по 06.12.11 г. проведена повторная дистанционная гамма-терапия на аппарате Theratron Equinox на область лимфоузлов шеи, средостения и аксиллярных лимфоузлов слева в СОД 30 Гр. Эффект — стабилизация процесса.

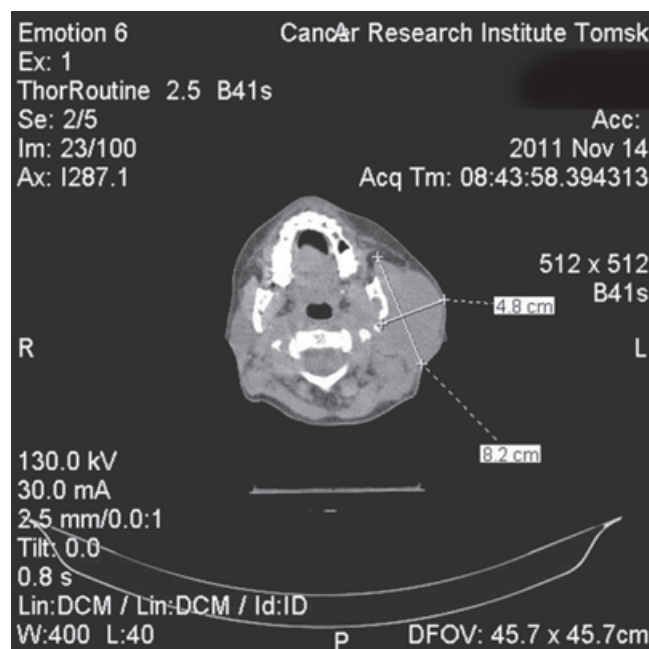


Рис. 1. КТ-разметка патологического очага (лимфоузлы шеи слева) для дистанционной ЛТ

С января по май 2012 г. пациентка получала паллиативные курсы химиотерапии с включением лейкерана, преднизолона, винкристина, ломустина. Курсы химиотерапии периодически осложнялись панцитопенией, по поводу чего проводилась коррекция. По основному заболеванию отмечалась стабилизация процесса.

В декабре 2012 г. — прогрессирование заболевания. По данным УЗИ от 09.12.12, слева в височной области подкожно определяется дополнительное образование, с достаточно интенсивным собственным кровотоком центрального типа, истинные размеры которого оценить невозможно (выходит за пределы

датчика, более 40 мм). По медиальной поверхности образования располагаются три гипоехогенных лимфатических узла размером до 10,5 мм. На передней поверхности шеи, в области трахеи, щитовидной железы и щитовидного хряща (больше справа), определяется второе дополнительное образование, по структуре сходное с образованием левой височной области, с высоко интенсивным собственным кровотоком, выходящее за пределы размеров датчика, приблизительный размер 40,6×15,1 мм. Также с обеих сторон определяются паратрахеальные лимфатические узлы 5,9×4,6 мм.

Проведена пункционная биопсия новообразования шеи спереди. Цитология № 6764 от 14.12.12 — лимфоидные элементы с дегенеративными изменениями. Подозрение на лимфопролиферативный процесс. Опухолевые клетки другого генеза не выявлены.

После консультации радиолога и КТ-разметки (рис. 2а, 2б) назначена дистанционная гамма-терапия на аппарате Theratron Equinox, которая была проведена с 10.12.12 по 25.12.12 на патологический очаг в височной области слева в режиме: разовая очаговая доза (РОД) 3,0 Гр, СОД 40 изоГр и на область шейных лимфоузлов СОД 14 Гр, но особого эффекта не было получено. Общее состояние больной после проведения ДГТ ухудшилось — появилась слабость, отсутствие аппетита, субфебрильная температура.

После 15-тидневного перерыва в лечении, регрессии указанных очагов не отмечалось, поэтому коллегиально было принято решение о попытке проведения нейтронной терапии на имеющиеся резистентные образования в височной области и на

передней поверхности шеи. Расчет СОД от проведенной ДГТ (с учетом перерыва в лечении) и планирование дополнительного применения быстрых нейтронов осуществлялось медицинским физиком, профессором В.А. Лисиным.

С 10.01.13 по 23.01.13 г. проведено 4 сеанса нейтронной терапии на патологический очаг в височной области слева, поле облучения 8×6 см, РОД 1,6 Гр, СОД 29 изоГр; на область опухоли по передней поверхности трахеи применялось поле облучения 6×6 см, РОД 1,3 Гр, СОД 20 изоГр. Уже после второго сеанса нейтронной терапии отмечалась выраженная положительная динамика, уменьшение опухолевого конгломерата в височной области и на передней поверхности шеи (в зоне гортани и трахеи). Отмечалась умеренная гиперемия кожи. По достижении суммарной дозы быстрых нейтронов 29 и 20 изоГр была достигнута полная регрессия патологических очагов.

При проведении дополнительного УЗИ других лимфоузлов прогрессирования не выявлено. Рентгенологические признаки увеличения лимфоузлов средостения, без отрицательной динамики от 29.03.2012. Объективно в зоне облучения от нейтронно-фотонной терапии в курсовой СОД 69 изоГр на патологический очаг в височной области и в СОД 32 изоГр в области трахеи — без лучевых повреждений кожи.

Продолжены паллиативные курсы ПХТ (CCNU, винкристин, дексаметазон).

При контрольном осмотре (рис. 3) и по данным УЗИ от 06.06.13: регрессия опухолевых очагов, на которые проводилась нейтронная терапия. Состояние

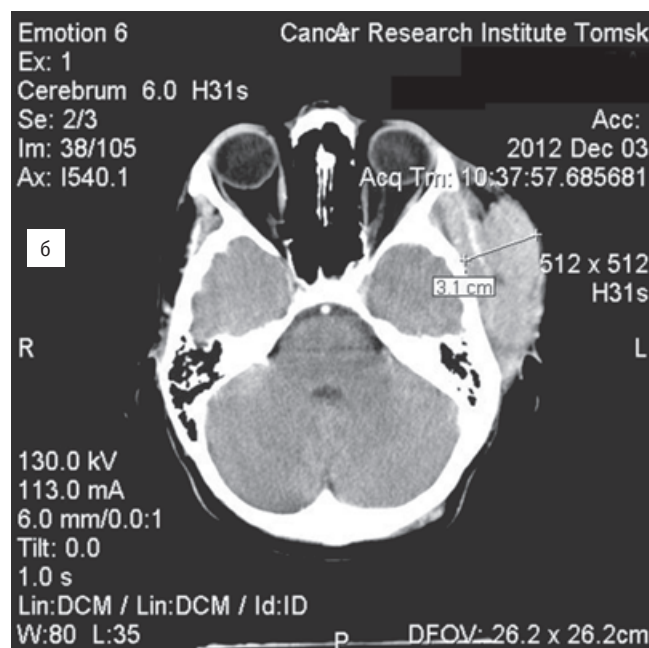
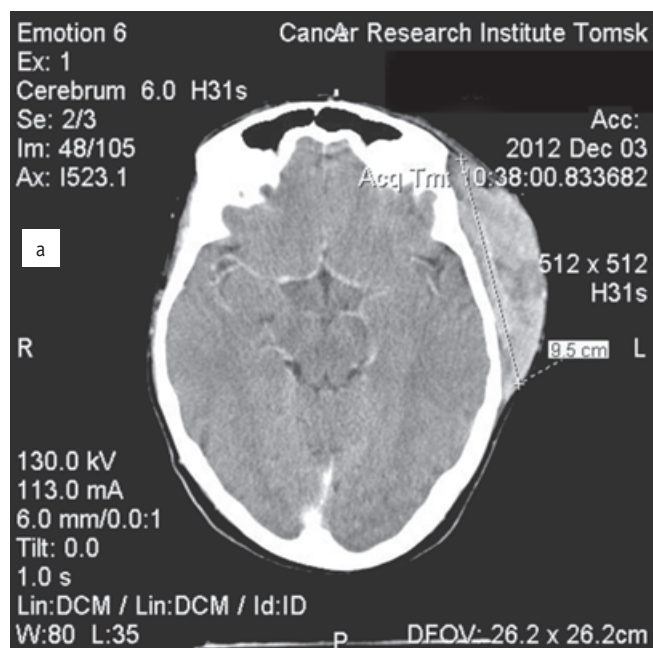


Рис. 2а, 2б. КТ-разметка патологического очага в височной области слева для дистанционной ЛТ



Рис. 3. Вид пациентки при контрольном осмотре в июне 2013 г. Полная регрессия опухоли височной области и на передней поверхности гортани. Состояние удовлетворительное

удовлетворительное. Жалоб не предъявляет. Больная находится под наблюдением химиотерапевтов и радиологов.

При контрольном осмотре в сентябре 2013 г. состояние удовлетворительное. Лучевых повреждений кожи и мягких тканей в области применения быстрых нейтронов не отмечается (рис. 4а, 4б). Получает паллиативные курсы химиотерапии.

Резюме: данное наблюдение является первым случаем применения нейтронной терапии при рефрактерном течении лимфомы Ходжкина. Назначение плотноионизирующего излучения в виде быстрых

нейтронов со средней энергией 6 МэВ циклотрона У-120 с небольшой по величине суммарной дозой преследовало цель оказания помощи молодой женщине, у которой резерв применения гамма-терапии и химиотерапии был практически исчерпан. Нейтронная терапия уже в процессе лечения оказала выраженный положительный эффект. Была достигнута полная регрессия патологических очагов в височной области и в области трахеи. Отсутствовали побочные реакции со стороны кожи, гортани.

Положительный эффект быстрых нейтронов в сравнении с гамма-излучением заключается в особенностях их взаимодействия с тканью опухоли. Характерной особенностью действия плотноионизирующего излучения при взаимодействии с облучаемой средой является увеличение вклада одномоментных двойных разрывов ДНК опухолевых клеток по сравнению с гамма-излучением, вследствие чего увеличивается доля клеток, гибнущих за счет одномоментных двойных разрывов, обеспечивая терапевтический эффект быстрых нейтронов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демина Е.А. Современные представления о лечении первичных больных лимфомой Ходжкина. // Клиническая онкогематология, 2006, № 1, С. 33–36.
2. Тарасенкова А.А., Филатова Л.В., Гершианович М.Л., Семиглазова Т.Ю. Первично-рефрактерные формы лимфомы Ходжкина с неблагоприятным прогнозом. // Вопросы онкологии, 2012, № 1, С. 101–109.
3. Лимфомы. Под ред. А.М. Гранова и Н.В. Ильина. — СПб.: ФГУ «РНЦРХТ», 2010, 272 с.

Поступила: 20.08.2013

Принята к публикации: 03.12.2013

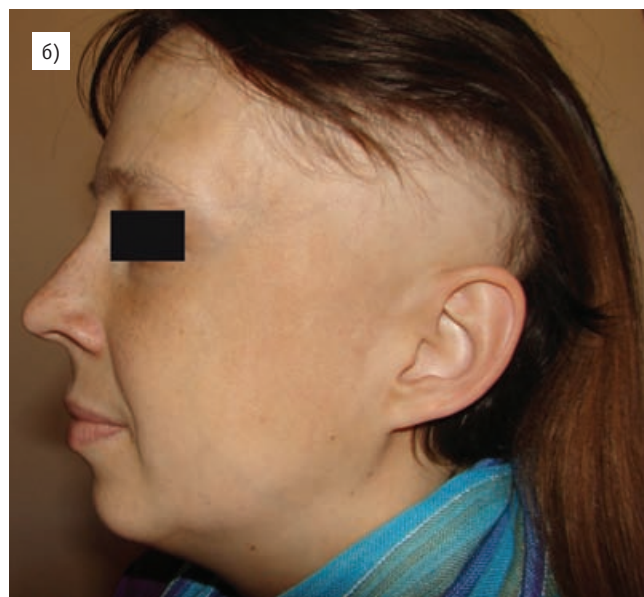
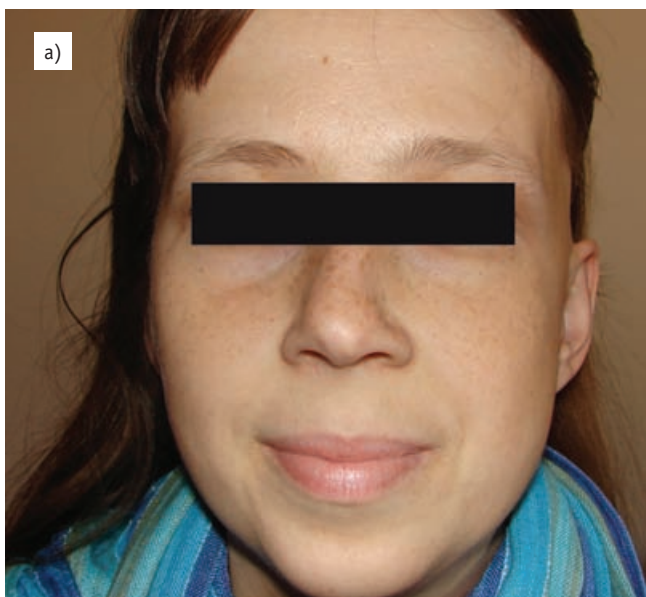


Рис. 4а, 4б. Вид пациентки при контрольном осмотре в сентябре 2013 г. Лучевых повреждений кожи в зоне проведения нейтронно-фотонной терапии не отмечается

Мусабаева Людмила Ивановна, доктор медицинских наук, профессор. Закончила Государственный Алма-Атинский медицинский институт в 1963 г.

Работала в Казахском государственном НИИ онкологии и радиологии с 1963 по 1980 г. Защитила кандидатскую диссертацию, получила ученое звание старшего научного сотрудника по специальности «рентгенология и лучевая терапия».

С 1980 г. по настоящее время работает в НИИ онкологии СО РАМН в г. Томске на должности главного научного сотрудника в отделении радиологии. Основное направление деятельности – разработка методов лечения терапии быстрыми нейтронами на циклотроне U-120 Томского политехнического университета, Получено свыше 40 патентов РФ по применению нейтронной терапии у больных различными ЗНО. Разработаны методы смешанной лучевой (ИОЛТ и ДГТ) у больных РМЖ, НМРЛ, опухолей костной системы и других локализаций. Имеет 10 монографий, в том числе, первую в России: «ИОЛТ и ДГТ у больных раком молочной железы». Имеет свыше 450 печатных работ. Под её руководством защитили одну докторскую и 20 кандидатских диссертаций. Выступала на различных форумах как в России, так и за рубежом. Награждена дипломами и золотой медалью «Европейское качество».



Старцева Жанна Александровна, доктор медицинских наук, руководитель отделения радиологии НИИ онкологии СО РАМН, врач высшей врачебной категории по специальностям «онкология» и «радиология». 2008 г. успешно защитила докторскую диссертацию по теме «Лучевая терапия различными видами ионизирующего излучения в комплексном лечении больных раком молочной железы». Имеет 230 печатных работ, из них одна монография, 66 статей в реферируемых журналах, 8 патентов РФ. Занимается изучением эффективности различных видов и оптимизацией схем лучевой терапии на основе совершенствования методов дозиметрического и радиобиологического планирования, а также разработкой и внедрением методик локальной гипертермии в комбинированном и комплексном лечении онкологических больных. Является научным руководителем 3 кандидатских диссертаций. С 2003 г. входит в состав административного совета Российской ассоциации терапевтических радиационных онкологов, является членом Европейского сообщества терапевтических радиационных онкологов (ESTRO) с 2005 г.

Великая Виктория Валерьевна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения радиологии НИИ онкологии СО РАМН. В 2007 г. защитила кандидатскую диссертацию по теме «Эффективность нейтронной и нейтронно-фотонной терапии в комплексном лечении местных рецидивов рака молочной железы». Занимается изучением эффективности нейтронной терапии у больных с местными рецидивами и у больных РМЖ после радикальной мастэктомии с неблагоприятными факторами прогноза. Имеет 110 печатных работ, из них 15 статей в научных журналах, 2 патента РФ на изобретение «Способ лечения местных рецидивов рака молочной железы», «Способ профилактики местного рецидива у больных местно-распространенным РМЖ T2–4N0–3M0–1..».

Грибова Ольга Вячеславовна, старший научный сотрудник отделения радиологии. В 2008 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Нейтронная и нейтронно-фотонная терапия злокачественных новообразований слюнных и щитовидной желез». Основное направление научной деятельности – разработка новых методик нейтронной терапии. О.В. Грибовой опубликовано 45 научных работ, из них 10 статей в реферируемых журналах. Результаты научной работы О.В. Грибова неоднократно докладывала на конференциях различного уровня.

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ А.К. ГУСЬКОВОЙ*«Необыкновенный юбилей необыкновенного человека»*

29 марта 2014 г. исполняется 90 лет со дня рождения лауреата Ленинской премии, лауреата международной премии им. Зиверта, заслуженного деятеля науки РСФСР, доктора медицинских наук, профессора, члена-корреспондента РАМН Ангелины Константиновны Гуськовой.

А.К. Гуськова родилась 29 марта 1924 г. в Красноярске. В 1941 г. поступила на лечебный факультет Свердловского государственного медицинского института. После окончания учебы с 1946 по 1949 г. — ординатура и защита кандидатской диссертации в клинике нервных болезней и нейрохирургии. Все, как будто бы, обычно и просто, как у многих успевающих молодых специалистов. Но тут в 1949 г. судьба переносит Ангелину Константиновну в сферу вновь создающейся области медицины, которой еще нет названия, но в которой со временем имя А.К. Гуськовой становится известным всему миру. А пока, до 1953 г., это работа врача-невропатолога и заведование неврологическим отделением в медико-санитарном отделе № 71 в закрытом городе Челябинской области (ныне — Озерск). С 1953 г., когда там создан филиал № 1 Института биофизики, а затем в Институте биофизики в Москве, где Ангелина Константиновна работала старшим научным сотрудником.

В те, теперь кажущиеся далекими годы становления атомной промышленности, врачи в содружестве с физиками и специалистами других профессий осуществляли наблюдение за состоянием здоровья и лечением работников первого атомного комбината «Маяк». Будучи внимательным врачом и пытливым, вдумчивым ученым, А.К. Гуськова в содружестве с другими специалистами сыграла неоценимую роль в обеспечении радиационной защиты персонала, работающего в условиях интенсивного воздействия широкого спектра ионизирующих излучений. На основании научно-аргументированных решений была создана система профилактических мероприятий, обеспечившая сохранение и восстановление здоровья подавляющего большинства людей (86 %) из нескольких тысяч, подвергавшихся высоким дозам лучевого воздействия. В эти ранние годы были заложены основы важного направления науки о здоровье — радиационной медицины. В соавторстве с Г.Д. Байсоголовым разработана классификация лучевых поражений человека, в основу которой положено представление о главенствующей роли пространственного и временного распределения дозы в клиническом течении лучевой болезни. Значение этих закономерностей обосновано и отражено в докторских диссертационных работах А.К. Гуськовой и Г.Д. Байсоголова и изданной в 1971 г. их монографии «Лучевая болезнь человека»,

не имеющей до сих пор аналогов по полноте и глубине исследований проблемы.

Период с 1961 по 1974 гг. — заведование радиологическим отделением клиники Института гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР — ознаменован рядом беспрецедентных по масштабу и практическому значению выполненных под руководством А.К. Гуськовой исследований, включающих:

- клиническое обоснование принятых допустимых доз профессионального облучения;
- изучение физиологических колебаний функций ряда органов и систем, как базы для правильной оценки отклонений у лиц основных групп наблюдения;
- разработка количественных методов изучения состояния критических органов и систем при воздействии излучения;
- научное обоснование принципов организации медицинского наблюдения лиц, работающих в условиях радиационного воздействия.

С 1974 по 1998 гг. А.К. Гуськова возглавляла клинический отдел Института биофизики. За эти годы под ее руководством разработан и внедрен в практику ряд методов диагностики, тончайшего прогнозирования тяжести лучевых синдромов и их лечения. Это позволило коллективу отдела успешно справиться с труднейшей задачей лечения большой группы пострадавших в аварии на ЧАЭС в 1986 г. И по сей день, работая в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в должности главного научного сотрудника, А.К. Гуськова осуществляет постоянное руководство имеющими огромное значение работами по радиационной эпидемиологии и оценкам риска отдаленных эффектов облучения.

Успехи в научной и лечебной работе А.К. Гуськовой основываются на глубоком знании производственных процессов, будь то АЭС, кабинет рентгенолога, научная лаборатория или цех по изготовлению ТВЭЛ'ов и др. со всеми их технологическими особенностями, отражающимися на условиях труда и уровнях облучения человека. Необходимость таких знаний врачами, работающими в области радиационной медицины — одно из основных требований А.К. Гуськовой — педагога, воспитавшего не одно поколение радиопатологов.

Имя Ангелины Константиновны Гуськовой давно и широко известно за рубежом. Активно участвуя в работе таких авторитетных международных организаций, как НКДАР ООН, МКРЗ, МАГАТЭ, и постоян-

но поддерживая творческие научные контакты с ведущими специалистами США, Франции, Германии, Японии и многих других стран, А.К. Гуськова и по сей день способствует реальному научному прогрессу радиационной медицины во всем мире.

В научных дискуссиях на представительных научных форумах или при обсуждении отдельных вопросов в узком кругу профессионалов Ангелину Константиновну отличает доброжелательность и принципиальность в сочетании с необыкновенной способностью проникнуть в самую глубину сложных проблем, даже когда она встречается с любыми новыми для себя аспектами науки и практики. Ее вопросы к докладчику или собеседнику всегда оказываются самыми главными, необходимыми для решения той или иной проблемы.

Списки научных работ и выполненных под ее руководством диссертаций занимают несколько страниц и включают ряд основополагающих руководств по широкому спектру проблем радиационной медицины. Большое значение Ангелины Константиновны придает популяризации трезвого взгляда на роль атомной энергии в целом и всех аспектов контакта человека с ионизирующим излучением, проповедуя главную мысль о том, что с источниками излучений надо обращаться с необходимой осторожностью, но без ложного страха.

За заслуги в научной и клинической деятельности Ангелины Константиновны Гуськовой награждена медалью за Трудовую доблесть, орденом Ленина, орденом Дружбы народов, она лауреат Ленинской премии, заслуженный деятель науки РСФСР.

Каждый, кому посчастливилось работать под руководством Ангелины Константиновны, или хотя бы встретиться с ней, обратившись за советом, гордится этим. Пациенты, которых лечила доктор Гуськова, помнят ее, преклоняются перед ней в течение всей своей жизни.

От всей души поздравляем Ангелину Константиновну — человека необыкновенно широкой души, одного из крупнейших ученых нашего времени, со славным юбилеем и желаем здоровья и новых успехов в науке.

*Сотрудники Федерального медицинского биологического научного центра им. А.И. Бурназяна
ФМБА России
Редакционная коллегия журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность»*

ПАМЯТИ Ю.А. ИЗРАЭЛЯ



23 января 2014 г. ушел из жизни Юрий Антониевич Израэль.

Юрий Антониевич родился 15 мая 1930 г. в Ташкенте в семье заведующего кафедрой физиологии человека и животных Среднеазиатского государственного университета Антония Ивановича Израэля и профессора той же кафедры Антонины Степановны Шаталиной.

В 1953 г. окончил Среднеазиатский государственный университет по специальности «физика» и начал работу в Москве в Геофизическом институте Академии наук СССР под руководством академика Е.К. Федорова. После того как Е.К. Федоров основал Институт прикладной геофизики Гидрометслужбы СССР, Израэль продолжил научную деятельность там же, защитив в 1963 г. кандидатскую, а в 1969 г. — докторскую диссертации на соискание ученой степени в области физико-математических наук.

С 1969 г. директор Геофизического института Академии наук, позднее преобразованного в Росгидромет. В этом учреждении Юрий Антониевич работал до последних дней своей жизни, широко сотрудничая с аналогичными учреждениями России, ряда зарубежных стран и международными организациями. В 1970 г. он также стал первым заместителем начальника Главного управления Гидрометеослужбы при Совете Министров СССР. В 1974 г. Израэль воз-

главил Гидрометслужбу, а также стал профессором и членом-корреспондентом АН СССР по специальности «физика атмосферы». Четыре года спустя он был назначен на должность председателя Государственного комитета по гидрометеорологии.

Начиная с 1953 г. Ю.А. Израэль активно участвовал в работе Гидрометслужбы страны, реализуя планомерные динамические измерения активности почв и воздуха в различных регионах страны и их изменения под влиянием тех или иных радиационных ситуаций. Эти систематические измерения показали закономерное снижение уровней доз на территории страны после прекращения ядерных испытаний.

Систематический мониторинг почв позволил Ю.А. Израэлю первым обнаружить повышение радиоактивности почвы в зоне, прилегающей к Чернобыльской АЭС. Это указывало на неожиданное появление источника существенных радиоактивных выбросов, что потребовало срочной организации более полной оценки радиоактивности почвы и воздуха. Госметслужба была усилена средствами авиационной разведки. Было подтверждено наличие радиоактивного выброса преимущественно в слое воздуха 800—1200 м от поверхности почвы, что позволило прогнозировать распространение радиоактивного выброса на близлежащей территории при соответствующем направлении ветра.

Именно эти сведения позволили уже в первые сутки после аварии оценить мощность экспозиционных доз гамма-излучения на различном расстоянии от поверхности почвы на промплощадке станции и в прилегающих к ней населенных пунктах. Именно эти указания позволили правительственной комиссии к исходу первых суток адекватно оценить радиус аварийной зоны, выбрать приемлемые величины аварийных доз для лиц, привлеченных к работе на промплощадке и проживающих на близлежащих к ней территориях.

Дальнейшие наблюдения в течение четверти века на территориях Белоруссии и России, подвергшихся техногенному загрязнению, определили динамику радиационной ситуации этих стран и соответствующим образом позволили пересмотреть распределение и размеры загрязненных территорий.

Атлас динамики радиационной ситуации, подготовленный под руководством Ю.А. Израэля вместе с белорусскими коллегами в 2009 г., убедительно демонстрирует значительное сужение границ загрязненных территорий и закономерное снижение уровней облучения, во многих случаях приближающихся к природному фону. Указанные выше динамические изменения позволяют вернуть к обычному режиму жизни целый ряд территорий, ранее обреченных на специфически ограничительные меры их использования, возобновить на них нормальные условия жизни и внести успокоение в души людей, там проживающих.

Огромные заслуги Ю.А. Израэля как в практической работе по оценке радиационной ситуации в стране, так и в интерпретации полученных данных заслуживают глубочайшего уважения и признания особой роли их вдохновителя и автора.

Помимо описанной выше деятельности в области радиационной гигиены, Юрий Антониевич в послед-

ние годы занимался и проблемой динамики климатических изменений в окружающей среде, что и позволило ему успешно работать в качестве директора и научного руководителя в Институте глобального климата и экологии.

Очень привлекательны человеческие свойства Юрия Антониевича. Он был доступен широкому общению, охотно делился полученными им сведениями. Критически оценивал полученные результаты, их возможную значимость для практических решений. Он был вдохновителем и руководителем ряда исследований, щедро делаясь своими идеями с молодыми учеными и постоянно содействуя приобретению ими практического опыта в сложной области оценки влияния среды на здоровье человека. Его деятельность отмечена рядом национальных и международных наград. Как очень немногие физики, он был близок и к пониманию вопросов физиологии человека и его возможной адаптации к постоянно изменяющимся влияниям внешней среды.

Утрата эта невосполнима. Сегодня трудно назвать какого-либо ученого и организатора, который мог бы взять на себя весь круг проблем и практических действий, какие осуществлялись Юрием Антониевичем Израэлем на протяжении всех 60 лет его деятельности.

Выражаем наше сочувствие его близким, коллегам и ученикам, к которым могут быть причислены и многие сотрудники, работавшие в области радиационной гигиены и медицины.

*Научные сотрудники учреждений, работавшие в области радиационной гигиены и медицины
Редакционная коллегия журнала «Медицинская радиология и радиационная безопасность»*