

ISSN 1998-426X (print)
ISSN 2409-9082 (online)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

ТОМ 14 № 2, 2021



**Научно-практический
журнал**

УЧРЕДИТЕЛЬ:
**Федеральное бюджетное
учреждение науки
«Санкт-Петербургский
научно-исследовательский
институт радиационной гигиены
имени профессора П.В. Рамзаева»**

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-28716 от 6 июля 2007 г.

В 2015 году журнал был зарегистрирован как сетевое издание Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации
ЭЛ № ФС77-63702 от 10 ноября 2015 г.

Издается ежеквартально.

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается с письменного разрешения редакции.

Ссылка на журнал «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» обязательна.

Журнал включен в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Журнал индексируется в мультидисциплинарной библиографической и реферативной базе SCOPUS, Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Корректор А.М. Плаксина
Компьютерная верстка
А.В. Гнездиловой

Адрес редакции:
197101, Санкт-Петербург,
ул. Мира, дом 8
Тел. (812) 233-4283, 233-5016
Тел./Факс (812) 233-4283
E-mail: journal@niirg.ru
Сайт: www.radhyg.ru

Тираж 200 экз.



Индекс для подписки в агентстве
«Книга-Сервис» - **Ф57988**

© «Радиационная гигиена», 2021

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета
Г.Г. Онищенко

Главный редактор
И.К. Романович



Том 14 № 2, 2021

Председатель редакционного совета

Онищенко Геннадий Григорьевич — Государственная Дума, д.м.н., профессор, академик РАН (Москва, Российская Федерация)

Главный редактор

Романович Иван Константинович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора

Вишнякова Надежда Михайловна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Редакционный совет

Алексанин Сергей Сергеевич — ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова» МЧС России, д.м.н. профессор, чл.-корр. РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Башкетова Наталия Семеновна — Управление Роспотребнадзора по г. Санкт-Петербургу (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Горбанев Сергей Анатольевич — ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Зарединов Дамир Арифович — Министерство здравоохранения Республики Узбекистан, д.м.н., профессор (Ташкент, Республика Узбекистан)

Иванов Виктор Константинович — Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр имени П.А. Герцена» Минздрава России, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Обнинск, Российская Федерация)

Ильин Леонид Андреевич — ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, д.м.н., профессор, академик РАН (Москва, Российская Федерация)

Кашпаров Валерий Александрович — Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии, д.б.н. (Киев, Украина)

Марченко Татьяна Андреевна — Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), д.м.н., профессор (Москва, Российская Федерация)

Мирсаидов Улмас Мирсаидович — Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, д.х.н., профессор, академик АН РТ (Душанбе, Республика Таджикистан)

Надареишвили Давид Киазович — Центр экспериментальной биомедицины им. И. Бериташвили, PhD (Тбилиси, Грузия)

Рожко Александр Валентинович — ГУ «Республиканский научный центр радиационной медицины и экологии человека», д.м.н. (Гомель, Республика Беларусь)

Софронов Генрих Александрович — ФБНУ «Институт экспериментальной медицины», д.м.н., профессор, академик РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Ушаков Игорь Борисович — ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, д.м.н., профессор, академик РАН (Москва, Российская Федерация)

Редакционная коллегия

Алехнович Александр Владимирович — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, д.м.н., профессор (Москва, Российская Федерация)

Аклеев Александр Васильевич — ФГБУН «Уральский научно-практический центр радиационной медицины» Федерального медико-биологического агентства, д.м.н., профессор (Челябинск, Российская Федерация)

Архангельская Генриэтта Владимировна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Балонов Михаил Исаакович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Балтрукова Татьяна Борисовна — ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Вакуловский Сергей Мстиславович — Институт проблем мониторинга окружающей среды (ИПМ) ФГУ НПО «Тайфун», д.т.н., профессор (Обнинск, Российская Федерация)

Водоватов Александр Валерьевич — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», к.б.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Гребеньков Сергей Васильевич — ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Ермолина Елена Павловна — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Российская Федерация)

Звонова Ирина Александровна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.т.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Кадука Марина Валерьевна — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», к.б.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Маттссон Ларс Юхан Скорен — Лундский университет, профессор (Мальмё, Швеция)

Омельчук Василий Владимирович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Рамзаев Валерий Павлович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», к.м.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Репин Виктор Степанович — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», д.б.н. (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Санжарова Наталья Ивановна — ФГБУН «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» Федерального агентства научных организаций, д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН (Обнинск, Российская Федерация)

Шандала Наталья Константиновна — ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, д.м.н., профессор (Москва, Российская Федерация)

FOUNDER:
Federal Scientific Organization
«Saint-Petersburg Research Institute
of Radiation Hygiene
after Professor P.V. Ramzaev»

Quarterly published

Editorial office address:
Mira str., 8, 197101,
St.-Petersburg, Russia
Phone: (812) 233-42-83, 233-50-16
Phone/Fax: (812) 233-42-83
E-mail: journal@niirg.ru
Web: www.radhyg.ru

RADIATION HYGIENE

Chairman of Editorial Council
Gennadiy G. Onishchenko

Editor-in-Chief
Ivan K. Romanovich



RADIATION HYGIENE

Vol. 14 № 2, 2021

Chairman of Editorial Council

Gennadiy G. Onishchenko — the State Duma, Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, M.D., Professor (Moscow, Russian Federation)

Editor-in-Chief

Ivan K. Romanovich — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Academician of the Russian Academy of Sciences, M.D., Professor, (Saint Petersburg, Russian Federation)

Deputy Editor-in-Chief

Nadezhda M. Vishnyakova — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, M.D. (Saint Petersburg, Russian Federation)

Members of Editorial Council

Sergey S. Aleksanin — Federal State Organization «A.M. Nikiforov All-Russia Center of Emergency and Radiation Medicine» of EMERCOM of Russia, M.D., Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences (Saint Petersburg, Russian Federation)

Nataliya S. Bashketova — Saint Petersburg Rospotrebnadzor Department (Saint Petersburg, Russian Federation)

Sergey A. Gorbanev — Northwest Public Health Research Center (Saint Petersburg, Russian Federation)

Damir A. Zaredinov — Uzbekistan Republic Healthcare Ministry, M.D., Professor (Tashkent, Uzbekistan Republic)

Valeriy A. Kashparov — Ukrainian Scientific Research Institute of Agricultural Radiology, Doctor of Biology (Kiev, Ukraine)

Ulmas M. Mirsaidov — Agency for Nuclear and Radiation Safety of the Academy of Sciences of Tajikistan Republic, Doctor of Chemistry, Professor, Academician of AS TR. (Dushanbe, Tajikistan Republic)

David K. Nadareshvili — Center of Experimental Biomedicine after I. Beritashvili, PhD (Tbilisi, Georgia)

Viktor K. Ivanov — Medical Radiological Center of Science after A.F. Tsyba — Branch of Federal State Organization «P.A. Herzen Federal Medical Research Center» of Healthcare Ministry», Doctor of Engineering, Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences (Obninsk, Russian Federation)

Leonid A. Ilyin — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia after A.I. Burnasyan, M.D., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Tat'yana A. Marchenko — All-Russian Research Institute on the Problems of Civil Defense and Emergency Situations of the Russian EMERCOM, Doctor of Medical Sciences, Professor (Moscow, Russian Federation)

Aleksandr V. Rozhko — Republican Scientific Center of Radiation Medicine and Human Ecology M.D. (Gomel, Belarus Republic)

Genrikh A. Sofronov — Federal State Scientific Organization «Institute of Experimental Medicine», Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Medical Sciences, (Saint Petersburg, Russian Federation)

Igor' B. Ushakov — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia after A.I. Burnasyan, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Honoured Doctor of the Russian Federation, Medical Major General of the Reserve (Moscow, Russian Federation)

Editorial Board

Aleksandr V. Alekhnovich — Russian Medical Academy of Post-graduate Education, MD, Professor (Moscow, Russian Federation)

Aleksandr V. Akleyev — Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal Medical-Biological Agency, MD, Professor (Chelyabinsk, Russian Federation)

Natalya I. Sanzharova — All-Russia Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, The Federal Agency for Scientific Organizations, Doctor of Biology, Professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences (Obninsk, Russian Federation)

Genrietta V. Arkhangel'skaya — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, M.D. (Saint Petersburg, Russian Federation)

Mikhail I. Balonov — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Doctor of Biology, Professor (Saint Petersburg, Russian Federation)

Tat'yana B. Baltrukova — Northwest State Medical University after I.I. Mechnikov (Saint Petersburg, Russian Federation)

Sergey M. Vakulovsky — Federal State Budgetary Institution Research and Production Association «Typhoon», Doctor of Engineering, Professor (Kaluga region, Russian Federation)

Aleksandr V. Vodovotov — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, PhD (Saint Petersburg, Russian Federation)

Sergey V. Grebenkov — Northwest State Medical University after I.I. Mechnikov, M.D., Professor (Saint Petersburg, Russian Federation)

Elena P. Ermolina — Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Moscow, Russian Federation)

Irina A. Zvonova — Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Doctor of Engineering (Saint Petersburg, Russian Federation)

Marina V. Kaduka — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of biological science (Saint Petersburg, Russian Federation)

Mattsson Lars Juhan Sören — Professor of medical radiation physics department of Lund University (Malmo, Sweden)

Vasilii V. Omelchuk — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, M.D. (Saint Petersburg, Russian Federation)

Valeriy P. Ramzaev — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation)

Victor S. Repin — Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Doctor of Biology (Saint Petersburg, Russian Federation)

Natal'ya K. Shandala — Federal Medical Biophysical Center after A.I. Burnasyan of Federal Medical Biological Agency of Russia, M.D., Professor (Moscow, Russian Federation)

СОДЕРЖАНИЕ

Том 14 № 2, 2021

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

- Кормановская Т.А., Историк О.А., Романович И.К., Еремина Л.А.,
Королева Н.А., Балабина Т.А., Кононенко Д.В., Кокоулина Е.С.,
Васильев А.С.
**Исследование уровней содержания радона в воздухе
помещений зданий детских учреждений6**
- Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Бурякова А.А.
**Влияние учета химической токсичности ^{238}U на величину
его предельно допустимого выброса в атмосферный
воздух21**

ОБЗОРЫ

- Библин А.М., Давыдов А.А., Вишнякова Н.М.,
Ахматдинов Р.Р., Репин Л.В.
**Анализ влияния особенностей радиационных аварий
на кризисную риск-коммуникацию.....27**

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР

- Голиков В.Ю., Водоватов А.В.
**Критический анализ и предложения по
совершенствованию существующей системы
радиационного контроля в рентгеновских кабинетах.....39**
- Буздалкин К.Н., Власова Н.Г., Рожко А.В., Бортновский В.Н.
**Критерии медицинского реагирования на
радиологические аварии в Республике Беларусь48**

РАДИАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А.
**Валидация метода определения плотности загрязнения
почвы ^{137}Cs на огородах с использованием портативного
спектрометра-дозиметра MKC AT6101D *in situ*56**
- Муминов С.В., Баротов Б.Б., Мирсаидов У.М., Муродов Ш.Р.,
Саломов Дж.А., Мирсаидзода И. (Мирсаидов И.У.)
**Содержание цезия-137 в почвенном покрове
Центрального и Южного Таджикистана66**

ЕСКИД И РАДИАЦИОННО- ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ

- Ракитский В.Н., Кузмичев М.К., Клепиков О.В., Куренкова Г.В.
**Сравнительная оценка средних доз облучения
населения Иркутской и Воронежской областей
по данным ЕСКИД72**

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Березин И.И., Сомов С.С., Якушева К.В.
**Анализ актуальности оформления технического
паспорта на рентгеновский кабинет медицинской
организации и согласования плана размещения
рентгеновского оборудования
с рентгенорадиологическим отделением79**
- Вагидова З.Я., Водоватов А.А., Романович И.К.,
Станжевский А.А., Поликарпов А.А.
**Предварительная оценка доз облучения пациентов
при химиоэмболизации опухолей печени.....83**
- Пышкина М.Д., Васильев А.В., Екидин А.А., Назаров Е.И.,
Романова М.А., Гуринович В.И., Комар Д.И., Кожемякин В.А.
**Дозиметрия нейтронного излучения на рабочих местах
персонала АО «Институт реакторных материалов»89**

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА

- «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА»100

CONTENTS

Vol. 14 № 2, 2021

RESEARCH ARTICLES

- Kormanovskaya T.A., Istoriik O.A., Romanovich I.K., Eremina L.A.,
Koroleva N.A., Balabina T.A., Kononenko D.V., Kokoulina E.S.,
Vasilyev A.S.
Radon surveys in the buildings of children institutions19
- Kryshch A.I., Sazykina T.G., Buryakova A.A.
**Impact of accounting of ^{238}U chemical toxicity on its
permissible release level to atmosphere26**

REVIEWS

- Biblin A.M., Davydov A.A., Vishnyakova N.M.,
Akhmatdinov R.R., Repin L.V.
**Analysis of the impact of features of radiation
accidents on crisis risk communication36**

SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE

- Golikov V.Yu., Vodovatov A.V.
**Critical analysis and suggestions to improve the
existing system of radiation control in X-ray rooms.....47**
- Buzdalkin C.N., Vlasova N.G., Rozhko A.V., Bortnovsky V.N.
**Criteria of medical response to radiological
emergencies in the Republic of Belarus54**

RADIATION MEASUREMENTS

- Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Bratilova A.A.
**Validation of a method for *in situ* determination
of ^{137}Cs soil contamination density in kitchen gardens
using the portable spectrometer-dosimeter
MKS AT6101D63**
- Muminov S.V., Barotov B.B., Mirsaidov U.M., Murodov S.R., Salomov J.A.,
Mirsaidzoda I. (Mirsaidov I.U.)
**Content of cesium-137 in the soil cover of Central
and Southern Tajikistan.....70**

ISDCR AND RUSSIAN FEDERATION RADIATION-HYGIENE PASSPORTIZATION

- Rakitsky V.N., Kuzmichev M.K., Klepikov O.V., Kurenkova G.V.
**Comparative evaluation of average doses of radiation
of population of Irkutsk and Voronezh regions according
to «Unified state system of control of individual doses».....77**

BRIEF MESSAGES

- Berezin I.I., Somov S.S., Yakusheva K.V.
**Evaluation of the applicability of the X-ray room
technical passports in the medical facilities and
approval of the X-ray department technical plans
by the local radiological authorities82**
- Vagidova Z.Ya., Vodovatov A.V., Romanovich I.K., Stanzhevsky A.A.,
Polikarpov A.A.
**Preliminary assessment of effective doses for patients
undergoing hepatic arterial chemoembolization87**
- Pyshkina M.D., Vasilyev A.V., Ekin A.A., Nazarov E.I., Romanova M.A.,
Gurinovich V.I., Komar D.I., Kozhemyakin V.A.
**Neutron dosimetry at workplaces of JC «Institute of
Nuclear Materials»97**

JOURNAL OF RADIATION HYGIENE –

- INSTRUCTIONS FOR AUTHORS.....100

Исследование уровней содержания радона в воздухе помещений зданий детских учреждений

Т.А. Кормановская¹, О.А. Историк², И.К. Романович¹, Л.А. Еремина², Н.А. Королева¹,
Т.А. Балабина¹, Д.В. Кононенко¹, Е.С. Кокоулина¹, А.С. Васильев¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

В статье приведены данные о содержании радона в воздухе помещений в зданиях детских учреждений ряда субъектов Российской Федерации, проанализированы результаты детальных радонометрических обследований 132 зданий детских учреждений в 85 населенных пунктах 6 районов Ленинградской области, проведенных в 2018–2020 гг. В 14 зданиях детских учреждений Ленинградской области (10,5% от всех обследованных зданий) выявлены превышения гигиенического норматива по содержанию радона в воздухе помещений, максимальное значение объемной активности радона в помещениях детских учреждений составило 2200 Бк/м³. Представляется целесообразным распространить опыт сотрудничества Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области и Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева при проведении детальных обследований детских учреждений на содержание радона в воздухе помещений и на другие проблемные по радону субъекты Российской Федерации.

Ключевые слова: объемная активность радона, эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона, радонометрическое обследование, гигиенический норматив, детские учреждения.

Введение

Одной из задач «Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу», утвержденных Указом Президента Российской Федерации № 585 от 13.10.2018 г.¹, является «совершенствование государственного контроля (надзора) за воздействием на здо-

ровье населения природных источников ионизирующего излучения, в том числе радона и продуктов его распада в жилых домах, детских учреждениях, общественных и производственных зданиях».

Обеспечение радиационной безопасности населения при облучении радоном в общественных зданиях регламентируется НРБ-99/2009², ОСПОРБ 99/2010³, СанПиН

¹ Указ Президента РФ от 13 октября 2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу». [Decree of the President of the Russian Federation No. 585 of October 13, 2018 «On approval of the Fundamentals of State policy in the field of ensuring nuclear and radiation safety of the Russian Federation for the period up to 2025 and beyond». (In Russ.)]

² Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534. [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2009, registration No. 14534. (In Russ.)]

³ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 г. № 40. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115. [Basic sanitary rules for the provision of radiation safety (OSPORB 99/2010). Sanitary rules and norms SP 2.6.1.2612-10. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 26.04.2010 No. 40. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 11, 2010, registration No. 18155. (In Russ.)]

Кормановская Татьяна Анатольевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: f4dos@mail.ru

2.6.1.2800-10⁴ установлением гигиенических нормативов на этапах проектирования, сдачи в эксплуатацию и эксплуатации зданий. На этапе проектирования новых зданий и сооружений, а также в проектах реконструкции и капитального ремонта закладывается двукратный запас по показателю среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона в воздухе помещений, т.е. половина от гигиенического норматива для эксплуатируемых зданий и сооружений. Дополнительными критериями для обеспечения соответствия ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений зданий требованиям нормативных документов являются контроль содержания природных радионуклидов в материалах, используемых в строительстве, а также плотности потока радона с поверхности грунта на участках территории, предназначенных под застройку.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) уделяет большое внимание вопросам санитарного надзора за уровнями природного облучения населения и, в частности, вопросам обеспечения радиационной безопасности при нахождении детей в зданиях детских образовательных школьных и дошкольных учреждений. Время пребывания воспитанников в этих учреждениях может достигать 12 ч в день. Всемирной организацией здравоохранения и Международным агентством по изучению рака радон и его короткоживущие дочерние продукты распада (ДПР) признаны второй после табакокурения причиной возникновения рака легкого [1, 2]. Высокое содержание радона в воздухе помещений детских учреждений (ДУ) может привести к отдаленным негативным последствиям для здоровья подрастающего поколения.

Цель исследования – анализ данных о содержании радона в воздухе помещений ДУ ряда субъектов Российской Федерации и анализ результатов детальных радонометрических обследований в 2018–2020 гг. ДУ 6 районов Ленинградской области.

Анализ данных радонометрических обследований детских учреждений в субъектах Российской Федерации

В 2017 г. в субъекты Российской Федерации было направлено письмо Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 01/12975-16-32 от 27.09.2016 г. «О состоянии радиационной безопасности населения при воздействии природных источников ионизирующего излучения», в ответ на которое регионами были представлены данные за 2011–2016 гг. о радиационных обследованиях существующих и вновь построенных зданий, в которых размещены ДУ.

В таблице 1 приведены данные, полученные от Управлений Роспотребнадзора по субъектам Российской Федерации, об общем числе зданий ДУ в регионах и о

числе зданий ДУ, в которых в указанный период было проведено радиационное обследование. Речь идет именно о числе зданий, в которых размещены ДУ, т.к. в отдельных случаях одно учреждение может располагаться сразу в нескольких зданиях (например, в одной и той же средней образовательной школе (СОШ) начальные классы могут заниматься в одном здании, средние и старшие классы – в другом), и наоборот, бывают ситуации, когда в одном и том же здании размещены дошкольное образовательное учреждение (ДОУ), и СОШ.

Из таблицы 1 видно, что к 2017 г. в некоторых регионах России доля обследованных зданий, в которых расположены ДУ, не превышала 10% от общего числа зданий ДУ. В 2 субъектах РФ (Республика Алтай и Амурская область) доля зданий ДУ, в которых был проведен радиационный контроль, по данным, представленным Управлениями Роспотребнадзора, составила 100%. Средний показатель по всем представленным регионам составил 32,5%, общее число обследованных зданий – 15 948.

В таблице 2 приведены данные о выявленных фактах превышений гигиенических нормативов содержания радона в воздухе помещений обследованных зданий ДУ в регионах в 2011–2016 гг.

По данным, представленным Управлениями Роспотребнадзора по субъектам РФ в адрес Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, превышения уровней содержания радона, торона и их ДПР в воздухе помещений были выявлены в 182 зданиях ДУ в 15 субъектах РФ, что составляет 1,14% от всего числа обследованных зданий ДУ.

В период с 2017 по 2019 г. на территории РФ также были зафиксированы случаи превышений гигиенических нормативов по содержанию радона в помещениях зданий ДУ:

- в помещениях МКДОУ «Первомайский детский сад» (Иркутская область, Нукутский район, с. Первомайское);
- в МБОУ «Основная общеобразовательная школа № 33» и МБОУ «Трещинская основная общеобразовательная школа» (Кемеровская область, Топкинский район, пос. Трещевский);
- в МАДОУ «Детский сад № 24» (г. Великий Новгород);
- в МАОУ «Средняя общеобразовательная школа № 18» (Челябинская область, г. Златоуст);
- в ряде образовательных учреждений г. Алдан Алданского района Республики Саха (Якутия): МБПОУ РС(Я) «Алданский медицинский колледж», МБОУ «Алданский лицей», МКОУ «Вечерняя школа», МБОУ «Гимназия г. Алдана», МБОУ «СОШ № 1», МБОУ «СОШ № 2».

В отдельных случаях измеренные значения ЭРОА изотопов радона в помещениях ДУ на порядок превышали установленный гигиенический норматив для эксплуатируемых общественных зданий (200 Бк/м³). Например, в актовом зале МБОУ «Гимназия г. Алдана» (Республика

⁴ Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2800-10. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 24.12.2010 г. № 171. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 27 января 2011 г., регистрационный № 19587. [Hygienic requirements for limiting public exposure to the natural sources of ionizing radiation. Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2800-10. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 24.12.2010 No. 171. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on January 27, 2011, registration No. 19587. (In Russ.)]

Таблица 1

Данные о радиационных обследованиях зданий ДУ в субъектах РФ в 2011–2016 гг.

[Table 1]

Information on radiation surveys of buildings of children institutions in the regions of the Russian Federation conducted in 2011-2016]

Субъект РФ [Region]	Общее число зданий ДУ [Total number of buildings]	Число обследованных зданий ДУ [Number of buildings surveyed]	Доля обследованных зданий ДУ, % [Percentage of buildings surveyed]
Республика Адыгея [The Republic of Adygea]	295	150	50,85
Республика Башкортостан [The Republic of Bashkortostan]	1655	149	9,00
Республика Алтай [The Altai Republic]	352	352	100,00
Республика Дагестан [The Republic of Dagestan]	2177	144	6,61
Республика Карелия [The Republic of Karelia]	220	56	25,45
Республика Марий Эл [The Mari El Republic]	534	436	81,65
Республика Северная Осетия – Алания [The Republic of North Ossetia – Alania]	449	6	1,34
Удмуртская Республика [The Udmurt Republic]	1296	950	73,30
Республика Хакасия [The Republic of Khakasia]	436	293	67,20
Алтайский край [Altai Krai]	2407	1468	60,99
Красноярский край [Krasnoyarsk Krai]	2012	277	13,77
Приморский край [Primorsky Krai]	1500	180	12,00
Ставропольский край [Stavropol Krai]	1455	1046	71,89
Хабаровский край [Khabarovsk Krai]	774	139	17,96
Амурская область [Amur Oblast]	465	465	100,00
Архангельская область [Arkhangelsk Oblast]	1325	120	9,06
Астраханская область [Astrakhan Oblast]	614	7	1,14
Владимирская область [Vladimir Oblast]	992	104	10,48
Волгоградская область [Volgograd Oblast]	679	5	0,74
Вологодская область [Vologda Oblast]	940	9	0,96
Ивановская область [Ivanovo Oblast]	680	381	56,03
Иркутская область [Irkutsk Oblast]	2172	1520	69,98
Калининградская область [Kaliningrad Oblast]	702	147	20,94
Калужская область [Kaluga Oblast]	592	48	8,11

Субъект РФ [Region]	Общее число зданий ДУ [Total number of buildings]	Число обследованных зданий ДУ [Number of buildings surveyed]	Доля обследованных зданий ДУ, % [Percentage of buildings surveyed]
Камчатский край [Kamchatka Krai]	257	205	79,77
Кемеровская область [Kemerovo Oblast]	1803	924	51,25
Кировская область [Kirov Oblast]	405	179	44,20
Нижегородская область [Nizhny Novgorod Oblast]	2181	81	3,71
Новгородская область [Novgorod Oblast]	428	32	7,48
Новосибирская область [Novosibirsk Oblast]	1869	859	45,96
Пензенская область [Penza Oblast]	875	586	66,97
Пермский край [Perm Krai]	2137	383	17,92
Псковская область [Pskov Oblast]	482	69	14,32
Ростовская область [Rostov Oblast]	2350	245	10,43
Рязанская область [Ryazan Oblast]	803	367	45,70
Самарская область [Samara Oblast]	2062	125	6,06
Саратовская область [Saratov Oblast]	1501	766	51,03
Свердловская область [Sverdlovsk Oblast]	3192	353	11,06
Тамбовская область [Tambov Oblast]	832	99	11,90
Тверская область [Tver Oblast]	9892	233	2,36
Томская область [Tomsk Oblast]	639	417	65,26
Тульская область [Tula Oblast]	982	83	8,45
Челябинская область [Chelyabinsk Oblast]	2307	45	1,95
Забайкальский край [Zabaykalsky Krai]	1179	31	2,63
Ярославская область [Yaroslavl Oblast]	815	200	24,54
Москва [Moscow]	4412	614	13,92
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра [Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra]	806	600	74,44

Таблица 2

Превышения гигиенических нормативов содержания радона в воздухе помещений зданий ДУ в регионах РФ

[Table 2]

Information on exceedance of the hygienic limit in buildings of children institutions in the regions of the Russian Federation]

Субъект РФ [Region]	Число зданий ДУ с превышением гигиенических нормативов [Number of buildings of children institutions where the hygienic limit is exceeded]
Республика Алтай [The Altai Republic]	21
Чувашская Республика [The Chuvash Republic]	1
Алтайский край [Altai Krai]	18
Красноярский край [Krasnoyarsk Krai]	1
Ставропольский край [Stavropol Krai]	1
Белгородская область [Belgorod Oblast]	10
Ивановская область [Ivanovo Oblast]	35
Иркутская область [Irkutsk Oblast]	4
Кемеровская область [Kemerovo Oblast]	33
Кировская область [Kirov Oblast]	8
Новосибирская область [Novosibirsk Oblast]	3
Рязанская область [Ryazan Oblast]	14
Свердловская область [Sverdlovsk Oblast]	1
Забайкальский край [Zabaykalsky Krai]	14
Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Oblast]	18

Саха (Якутия)) максимальное значение ЭРОА изотопов радона в воздухе составило более 6000 Бк/м³.

В 2019 г. в рамках государственного контракта было выполнено комплексное радиационное обследование зданий детских и образовательных организаций в 32 населенных пунктах Адамовского, Кваркенского, Новоорского, Домбаровского, Светлинского районов и Ясенского ГО Оренбургской области. При выполнении обследования использовались как интегральные методы определения объемной активности (ОА) радона (с установкой в помещениях ДУ интегральных трековых радиометров радона (ИТРП) на срок не менее 1 месяца в зимний и весенне-осенний периоды года), так и экспрессные методы определения ЭРОА изотопов радона в штатном режиме эксплуатации зданий ДУ (во время учебного процесса в СОШ, нахождения воспитанников в ДООУ) с применением радиометров аэрозолей РАА-10, комплексов для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс А» и «Альфарад плюс АРП». В 10 из 63 обследованных зданий были зафиксированы значения ЭРОА изотопов радона, превышающие 200 Бк/м³.

Максимальное измеренное значение ЭРОА изотопов радона составило 1114 Бк/м³.

Обследование детских учреждений Ленинградской области на содержание радона в воздухе помещений

С 2014 по 2017 г. на территории всех 17 районов Ленинградской области было проведено выборочное обследование на содержание радона в воздухе помещений детских дошкольных и школьных учреждений [3]. Полученные данные легли в основу планирования детальных обследований на содержание радона в воздухе помещений ДУ в различных районах Ленинградской области.

В 2018–2019 гг. в рамках инициативной научно-исследовательской работы (НИР) «Научное обоснование и разработка мероприятий по оценке и снижению уровней содержания радона в воздухе помещений детских учреждений Ленинградской области», проводимой совместно специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области, с приме-

нием интегральных методов измерения ОА радона было выполнено детальное обследование на содержание радона в воздухе помещений 80 ДУ в 56 населенных пунктах 4 районов Ленинградской области. ИТПР экспонировались в помещениях ДУ не менее 1 месяца в зимний или весенне-осенний периоды, затем анализировались с применением комплекта аппаратуры для измерения средней объемной активности радона в воздухе трековым методом «ТРЕК-РЭИ-1». В 2018 г. радонометрическим обследованием было охвачено 23 ДУ в 13 населенных пунктах Волосовского района (11 детских садов, 9 школ и 3 учреждения типа «начальная школа – детский сад») [4], 19 ДУ в 12 населенных пунктах Бокситогорского района (6 детских садов и 13 школ). В 2019 г. было обследовано 19 ДУ в 16 населенных пунктах Приозерского района (9 детских садов, 9 школ и 1 начальная школа – детский сад) и 19 ДУ в 15 населенных пунктах Всеволожского района (7 детских садов, 12 школ). В таблицах 3 и 4 представлены обобщенные результаты выполненных радонометрических обследований в зданиях ДУ Волосовского, Бокситогорского, Приозерского и Всеволожского районов, в последней графе таблиц приведен диапазон измеренных значений ОА радона для каждого здания.

ЭРОА радона, превышающие нормативное значение в 200 Бк/м³, зафиксированы в 4 из 80 обследованных в

2018–2019 гг. ДУ: в 3 ДУ Волосовского района – здание МДОУ «Детский сад № 11» в д. Клопицы, здание МДОУ «Детский сад № 4» и здание начальной школы МОУ «Сельцовская СОШ» в п. Сельцо; 1 ДУ Приозерского района – в МДОУ «Детский сад № 2» в п. Сосново. Все здания ДУ, в которых, по данным детального обследования, выявлены превышения по содержанию радона, были построены до 1980 г.

В 2020 г. проведение радонометрических обследований ДУ Ленинградской области было продолжено специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области в рамках выполнения совместной НИР «Гигиеническая оценка уровней содержания радона в воздухе помещений детских учреждений Ленинградской области».

Поскольку основной причиной повышенного содержания радона в зданиях региона является повышенная радоноопасность территорий застройки (рис.), обусловленная залеганием под зданиями пород и грунтов, содержащих радий-226 [5], выбор районов Ленинградской области для радонометрических обследований ДУ на период 2020–2021 гг. был выполнен с учетом геологических характеристик местности. В первую очередь обследование решено было проводить в тех районах области, по

Таблица 3

Результаты интегральных измерений ОА радона (OA_{rn}) в воздухе помещений ДУ на территории Волосовского и Бокситогорского районов Ленинградской области в 2018 г.

[Table 3]

Results of long-term measurements of radon concentration using SSNTDs in the buildings of children institutions in Volosovsky and Boksitogorsky districts of the Leningrad region in 2018]

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон OA_{rn} , Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
Волосовский район [Volosovsky district]		
1.	г. Волосово, МДОУ «Детский сад № 28» [Volosovo, Kindergarten No. 28]	20–250
2.	д. Бегуницы, МДОУ «Детский сад № 12» [Begunitsy, Kindergarten No. 12]	40–105
3.	д. Бегуницы, МОУ «Бегуницкая СОШ» [Begunitsy, School]	160–405
4.	п. Беседа, МДОУ «Детский сад № 18» [Beseda, Kindergarten No. 18]	25–60
5.	п. Беседа, МОУ «Беседская ООШ» [Beseda, School]	25–130
6.	д. Большая Вруда, МДОУ «Детский сад № 27» [Bolshaya Vruda, Kindergarten No. 27]	100–350
7.	д. Большая Вруда, МОУ «Большеврудская СОШ» [Bolshaya Vruda, School]	30–255
8.	д. Извара, МДОУ «Детский сад № 22» [Izvara, Kindergarten No. 22]	50–240
9.	д. Извара, МОУ «Изварская СОШ» [Izvara, School]	25–100
10.	п. Калитино, МДОУ «Детский сад № 5» [Kalitino, Kindergarten No. 5]	50–140
11.	п. Калитино, МОУ «Калитинская СОШ» [Kalitino, School]	35–195
12.	д. Клопицы, МДОУ «Детский сад № 11» [Klopitsy, Kindergarten No. 11]	450–755

Продолжение таблицы 3

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон ОА _{РН} , Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
13.	п. Курск, МДОУ «Детский сад № 20» [Kursk, Kindergarten No. 20]	30–65
14.	п. Курск, МОУ «Яблонницкая СОШ» [Kursk, School]	30–160
15.	д. Большой Сабск, МДОУ «Детский сад № 19» [Bolshoy Sabsk, Kindergarten No. 19]	20–70
16.	д. Большой Сабск, МОУ «Сабская СОШ» [Bolshoy Sabsk, School]	15–110
17.	п. Сельцо, МДОУ «Детский сад № 4» [Seltso, Kindergarten No. 4]	160–530
18.	п. Сельцо, МОУ «Сельцовская СОШ», здание начальной школы [Seltso, Primary School]	100–1140
19.	п. Сельцо, МОУ «Сельцовская СОШ», здание средней школы [Seltso, Secondary School]	100–300
20.	д. Терпилицы, МДОУ «Детский сад № 14» [Terpilitsy, Kindergarten No. 14]	55–105
21.	д. Терпилицы, МОУ «Октябрьская ООШ» [Terpilitsy, School]	30–105
22.	д. Ущевницы, МОУ «Ущевницкая НОШ», дошкольное отделение [Ushchevitsy, Kindergarten]	15–25
23.	д. Рабитицы, МОУ «Рабитицкая НОШ», дошкольное отделение [Ushchevitsy, Kindergarten]	10–40
Бокситогорский район [Boksitogorsky district]		
1.	г. Пикалево, МБДОУ «ДС КВ № 9» [Pikalyovo, Kindergarten No. 9]	33–90
2.	г. Пикалево, МБДОУ «ДС № 7 КВ» [Pikalyovo, Kindergarten No. 7]	22–125
3.	г. Пикалево, МБОУ «ООШ № 2» [Pikalyovo, School No. 2]	40–200
4.	д. Бор, МКДОУ «Борский детский сад» [Bor, Kindergarten]	<10–54
5.	д. Бор, МБОУ «Борская СОШ» [Bor, School]	45–200
6.	п. Ларьян, ГКОУ ЛО «Ларьянская школа-интернат» [Laryan, Boarding school]	<10–85
7.	п. Ефимовский, МБДОУ «Ефимовский детский сад» [Efimovskiy, Kindergarten]	60–102
8.	п. Ефимовский, ГКОУ ЛО «Ефимовская коррекционная школа-интернат» [Efimovskiy, Correctional boarding school]	65–245
9.	п. Ефимовский, МБОУ «СОШ п. Ефимовский» [Efimovskiy, Boarding school]	30–110
10.	д. Большой Двор, МКОУ «Большедворская ООШ», дошкольное отделение [Bolshoy Dvor, Kindergarten]	26–70
11.	д. Большой Двор, МКОУ «Большедворская ООШ», школьное отделение [Bolshoy Dvor, School]	10–100
12.	д. Климово, МКОУ «Климовская НОШ» [Klimovo, Primary school]	40–110
13.	п. Заборье, МКДОУ «Заборьевский детский сад» [Zaborie, Kindergarten]	75–170
14.	п. Заборье, МКОУ «Заборьевская СОШ» [Zaborie, School]	35–100

Окончание таблицы 3

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон ОА _{ра} , Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
15.	д. Радогощь, МКОУ «Радогощинская НОШ» [Radogoshch, Primary school]	20–75
16.	п. Совхозный, МКОУ «Самойловская НОШ» [Sovkhoznyy, Primary school]	13–50
17.	д. Анисимово, МКОУ «Анисимовская ООШ» [Anisimovo, School]	20–90
18.	п. Коли, МКОУ «Колинская НОШ» [Koli, Primary school]	<10–40
19.	п. Подборовье, МКОУ «Подборовская ООШ», дошкольное отделение [Podborovie, Kindergarten]	34–75
20.	п. Подборовье, МКОУ «Подборовская ООШ», школьное отделение [Podborovie, School]	<10–90

Таблица 4

Результаты интегральных измерений ОА радона (ОА_{ра}) в воздухе помещений ДУ на территории Приозерского и Всеволожского районов Ленинградской области в 2019 г.

[Table 4

Results of long-term measurements of radon concentration using SSNTDs in the buildings of children institutions in Priozersky and Vsevolozhsky districts of the Leningrad region in 2019]

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон ОА _{ра} , Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
Приозерский район [Priozersky district]		
1.	г.п. Кузнечное, МДОУ «Детский сад № 11» [Kuznechnoe, Kindergarten No. 11]	47–135
2.	п. Петровское, МОУ «Петровская СОШ» [Petrovskoe, School]	62–368
3.	п. Севастьяново, МДОУ «Детский сад № 30» [Sevastyanovo, Kindergarten No. 30]	80–202
4.	п. Севастьяново, МОУ «Севастьянская ООШ» [Sevastyanovo, School]	82–135
5.	п. Мельниково, МДОУ «Детский сад № 20» [Melnikovo, Kindergarten No. 20]	20–75
6.	п. Мельниково, МОУ «Мельниковская СОШ» [Melnikovo, School]	<13–106
7.	п. Коммунары, МДОУ «Детский сад № 29» [Kommunary, Kindergarten No. 29]	37–178
8.	п. Ромашки, МОУ «Джатиевская ООШ» [Romashki, School]	40–127
9.	п. Плодовое, МДОУ «Детский сад № 24» [Plodovoe, Kindergarten No. 24]	32–84
10.	п. Громово, МОУ «Красноармейская ООШ» [Gromovo, School]	32–170
11.	д. Красноозерное, МОУ «Красноозерненская ООШ» [Krasnoozernoe, School]	50–134
12.	п. Запорожское, МДОУ «Детский сад № 16» [Zaporozhskoe, Kindergarten No. 16]	50–124
13.	п. Мичуринское, МОУ «Мичуринская СОШ» [Michurinskoe, School]	52–120
14.	п. Сосново, МДОУ «Детский сад № 2» [Sosново, Kindergarten No. 2]	50–435

Продолжение таблицы 4

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон OA_{Pn} , Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
15.	п. Сосново, МДОУ «Детский сад № 31» [Sosnovo, Kindergarten No. 31]	52–145
16.	д. Раздолье, МОУ «Раздольская СОШ» [Razdolie, School]	20–100
17.	п. Саперное, МОУ «Шумиловская СОШ» [Sapernoe, School]	41–170
18.	д. Кривко, МОУ «Кривковская начальная школа – детский сад» [Krivko, Primary school and Kindergarten]	29–95
19.	п. Суходолье, МДОУ «Детский сад № 10» [Sukhodolie, Kindergarten No. 10]	25–135
Всеволожский район [Vsevolozhsky district]		
1.	г. Всеволожск, МДОБУ «ДСКВ «Южный»» [Vsevolozhsk, Kindergarten]	10–90
2.	г. Всеволожск, МОБУ «СОШ № 6» [Vsevolozhsk, School No. 6]	7–98
3.	г. Сертолово, МДОБУ «Чернореченский ДСКВ» [Sertolovo, Chernaya rechka, Kindergarten]	15–45
4.	г. Сертолово, МДОБУ «Сертоловский ДСКВ № 3» [Sertolovo, Kindergarten No. 3]	17–50
5.	г. Сертолово, МОБУ «Средняя общеобразовательная школа «Сертоловский центр образования № 2»» [Sertolovo, School No. 2]	16–125
6.	п. им. Морозова, МОУ «СОШ пос. им. Морозова» [Imeni Morozova, School]	9–75
7.	д. Вартемяги, МОБУ «Средняя общеобразовательная школа «Агалатовский центр образования» [Vartemyagi, School]	17–260
8.	п. им. Свердлова, МОУ «СОШ «Свердловский ЦО»» [Imeni Sverdlova, School]	5–65
9.	пгт Токсово, МОУ «СОШ «ТЦО им. Петрова В.Я.»» [Toksovo, School]	15–114
10.	пгт Дубровка, МОУ «ДСОШ» [Dubrovka, School]	35–84
11.	п. Рахья, МОУ «СОШ «РЦО»» [Rakhya, School]	46–187
12.	г. Кудрово, МДОБУ «Кудровский ДСКВ № 1» [Kudrovo, Kindergarten No. 1]	18–44
13.	д. Янино-1, МОБУ «СОШ «Янинский ЦО»» [Yanino-1, School]	10–10
14.	д. Васкелово, МДОБУ «Васкеловский ДСКВ» [Vaskelovo, Kindergarten]	8–78
15.	д. Новое Девяткино, МОУ «Ново-Девяткинская СОШ № 1» [Novoe Devyatkinno, School No. 1]	28–70
16.	п. Мурино, МДОБУ «Муринский ДСКВ № 3» [Murino, Kindergarten No. 3]	50–115
17.	п. Мурино, МОБУ «Муринская СОШ № 3» [Murino, School No. 3]	12–84
18.	п. Кузьмолловский, МДОБУ «Кузьмолловский ДСКВ» [Kuzmolovskiy, Kindergarten]	8–48
19.	п. Лесколово, МОУ «СОШ «ЛЦО»» [Leskolovo, School]	30–37

территории которых проходит полоса приповерхностного уранового рудопоявления диктионемовых сланцев [6]. В 2020 г. обследование ДУ на содержание радона было выполнено в Ломоносовском и Кингисеппском районах; обследование охватило 26 ДУ в 19 населенных пунктах Ломоносовского района и 26 ДУ в 10 населенных пунктах Кингисеппского района.

Для обследования ДУ на содержание радона использовался интегральный метод определения ОА радона (по 150 ИТРР на каждый район). Изначально проведение радонметрического обследования было запланировано на апрель 2020 г., но в связи с эпидемиологической ситуацией в Ленинградской области (закрытием или ограниченным режимом работы детских садов и переходом школ на дистанционное обучение) проведение обследования в помещениях закрытых зданий было признано нецелесообразным, поскольку нарушение режима эксплуатации зданий (отключение штатного режима работы вентиляции, отсутствие проветривания помещений) искажает картину содержания радона в воздухе помещений. Вследствие этого установка пробоотборных камер в помещениях ДУ Ломоносовского и Кингисеппского районов в рамках выполнения НИР «Гигиеническая оценка уровней содержания радона в воздухе помещений детских учреждений Ленинградской области» была проведена с ноября по декабрь 2020 г. В таблице 5 представлены обобщенные результаты выполненного радонметрического обследования в зданиях ДУ Ломоносовского и Кингисеппского районов, в последней графе приведен диапазон измеренных значений ОА радона для каждого здания.

При обследовании 26 ДУ Ломоносовского района в 2 ДУ (МДОУ № 16 в с. Копорье и МДОУ № 19 в д. Лаголово) были получены значения ЭРОА радона, превышающие 200 Бк/м³ (273 и 204 Бк/м³ соответственно).

В 5 обследованных зданиях ДУ Кингисеппского района (МБДОУ № 3 и МБОУ «Кингисеппская СОШ № 6» в г. Кингисеппе, МБОУ «Вистинская СОШ» в д. Вистино, МБДОУ «Детский сад» в д. Ополье и МБДОУ «Детский сад» в д. Фалилеево) максимальные измеренные значения АО радона составляют от 410 до 635 Бк/м³, что соответствует значениям ЭРОА изотопов радона 205 и 318 Бк/м³. В 3 ДУ (МБОУ «Пустомержская СОШ» в д. Большая Пустомержа, МБДОУ д. Вистино и МБОУ «Фалилеевская ООШ» в д. Фалилеево) даже минимальные из измеренных значений ОА радона превышают 400 Бк/м³ (в приведении к ЭРОА изотопов радона – превысят 200 Бк/м³). Максимальные значения ОА радона в помещениях этих трех зданий составляют 2200, 705 и 1930 Бк/м³ соответственно.

Таким образом, выполненные радонметрические обследования 132 ДУ в 85 населенных пунктах Волосовского, Бокситогорского, Приозерского, Всеволожского, Ломоносовского и Кингисеппского районов Ленинградской области выявили 14 ДУ с превышением нормативного значения ЭРОА изотопов радона в 200 Бк/м³. Полученные результаты являются основой для проведения детальных обследований отдельных зданий ДУ в различные периоды года с целью оценки средних годовых значений ЭРОА изотопов радона, оценки доз облучения и радиационных рисков для здоровья воспитанников и учащихся этих учреждений и принятия взвешенных управленческих решений.

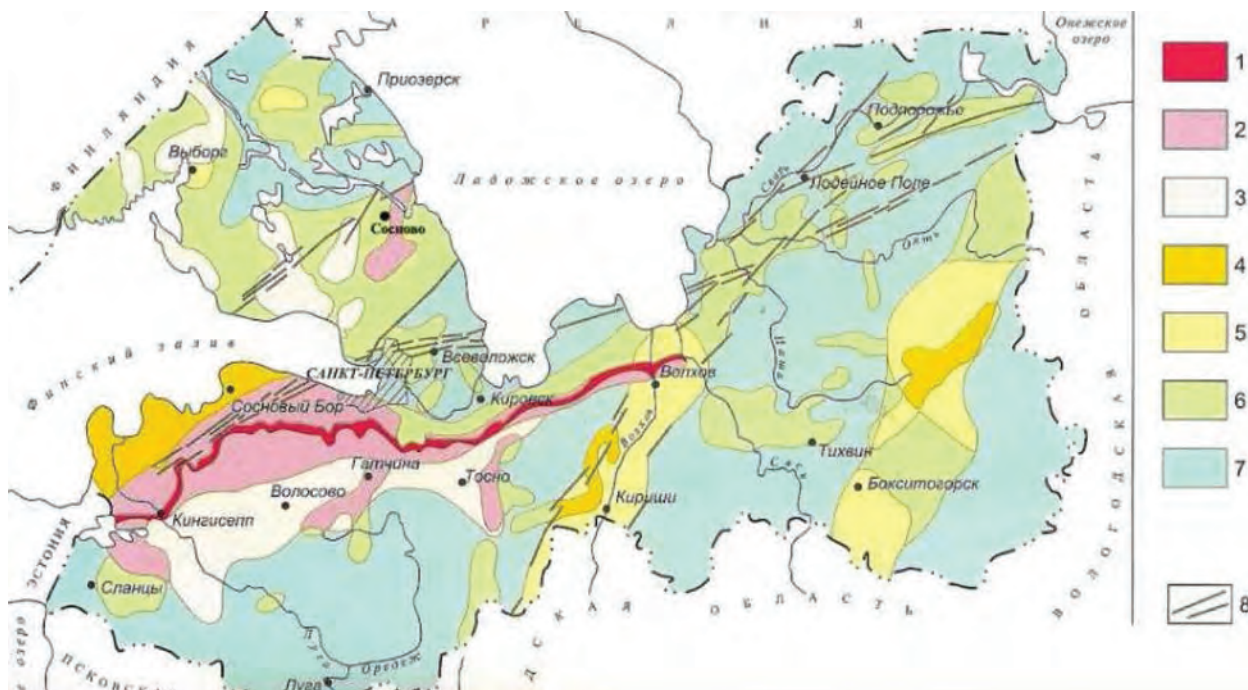


Рис. Карта районирования Ленинградской области по степени радоноопасности (по Б.Г. Дверницкому и др., 1999 [7]): 1–7 – уровни риска в порядке убывания; 8 – разрывные нарушения

[Fig. Radon risk map of the Leningrad region (B.G. Dvernitskij et al., 1999): 1–7 – risk levels in descending order; 8 – faults]

Таблица 5

Результаты интегральных измерений ОА радона (OA_{rn}) в воздухе помещений ДУ на территории Ломоносовского и Кингисеппского районов Ленинградской области в 2020 г.

[Table 5]

Results of long-term measurements of radon concentration using SSNTDs in the buildings of children institutions in Lomonosovsky and Kingiseppsky districts of the Leningrad region in 2020]

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон OA_{rn} , Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
Ломоносовский район [Lomonosovsky district]		
1.	д. Низино, МДОУ № 7 «Ласточка» [Nizino, Kindergarten No. 7]	70–315
2.	д. Горбунки, МДОУ № 2 «Радуга» [Gorbunki, Kindergarten No. 2]	80–180
3.	д. Гостилицы, МОУ «Гостилицкая школа» [Gostilitsy, School]	80–254
4.	д. Пеники, МДОУ № 20 [Peniki, Kindergarten No. 20]	130–290
5.	д. Яльгелево, МОУ «Яльгелевский образовательный центр», дошкольное отделение [Yalgelevo, Kindergarten]	70–160
6.	д. Яльгелево, МОУ «Яльгелевский образовательный центр», школьное отделение [Yalgelevo, School]	115–320
7.	п. Аннино, МДОУ № 26 [Annino, Kindergarten No. 26]	30–110
8.	п. Аннино, МОУ «Аннинская ОШ» [Annino, School]	140–410
9.	с. Копорье, МОУ «Копорская школа» [Koporye, School]	90–155
10.	с. Копорье, МДОУ № 16 [Koporye, Kindergarten No. 16]	130–545
11.	г.п. Новоселье, МДОУ № 14 [Novoselye, Kindergarten No. 14]	30–180
12.	г.п. Новоселье, МДОУ № 10 [Novoselye, Kindergarten No. 10]	55–130
13.	пгт Лебяжье, МОУ «Лебяженский центр общего образования», дошкольное отделение [Lebyazhye, Kindergarten]	80–200
14.	пгт Лебяжье, МОУ «Лебяженский центр общего образования», школьное отделение [Lebyazhye, School]	55–200
15.	п. Новогорелово, МДОУ № 4 [Novogorelovo, Kindergarten No. 4]	70–157
16.	г.п. Виллози, МДОУ № 25 «Малыш» [Villozi, Kindergarten No. 25]	46–235
17.	г.п. Большая Ижора, МДОУ № 31 «Светлячок» [Bolshaya Izhora, Kindergarten No. 31]	65–260
18.	д. Лопухинка, МДОУ № 24 «Родничок» [Lopukhinka, Kindergarten No. 24]	15–155
19.	д. Разбегево, МДОУ № 15 [Razbegaev, Kindergarten No. 15]	40–200
20.	д. Оржицы, МОУ «Оржицкая школа» [Orzhitsy, School]	112–335
21.	п. Ропша, МДОУ № 8 [Ropsha, Kindergarten No. 8]	75–140
22.	п. Ропша, МОУ «Ропшинская школа» [Ropsha, School]	60–108
23.	с. Русско-Высоцкое, МДОУ № 29 «Сказка» [Russko-Vysotskoe, Kindergarten No. 29]	75–150

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон $OA_{\text{рн}}$, Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
24.	с. Русско-Высоцкое, МОУ «Русско-Высоцкая школа» [Russko-Vysotskoe, School]	57–300
25.	д. Лаголово, МДОУ № 19 [Lagolovo, Kindergarten No. 19]	170–407
26.	д. Малое Карлино, МОУ «Нагорная школа», дошкольное отделение [Maloe Karlino, Kindergarten]	60–240
27	д. Малое Карлино, МОУ «Нагорная школа», школьное отделение [Maloe Karlino, School]	55–120
Кингисеппский район [Kingiseppsky district]		
1.	г. Кингисепп, МБДОУ № 2 [Kingisepp, Kindergarten No. 2]	90–206
2.	г. Кингисепп, МБДОУ № 16 «Детский сад» [Kingisepp, Kindergarten No. 16]	80–255
3.	г. Кингисепп, МБДОУ № 10 [Kingisepp, Kindergarten No. 10]	90–155
4.	г. Кингисепп, МБДОУ № 21 «Детский сад» [Kingisepp, Kindergarten No. 21]	80–150
5.	г. Кингисепп, МБДОУ № 3 [Kingisepp, Kindergarten No. 3]	140–635
6.	г. Кингисепп, МБОУ «КСОШ № 1» [Kingisepp, School No. 1]	75–225
7.	г. Кингисепп, МБОУ «КСОШ № 5» [Kingisepp, School No. 5]	40–220
8.	г. Кингисепп, МБОУ «Кингисеппская СОШ № 6» [Kingisepp, School No. 6]	90–430
9.	г. Ивангород, МБДОУ «Детский сад № 1 комбинированного вида» [Ivangorod, Kindergarten No. 1]	125–390
10.	г. Ивангород, МБДОУ № 2 [Ivangorod, Kindergarten No. 2]	115–234
11.	г. Ивангород, МБОУ «ИСОШ № 1 им. Н.П. Наумова» [Ivangorod, School No. 1]	40–235
12.	г. Ивангород, МБОУ «ИООШ № 2» [Ivangorod, School No. 2]	55–340
13.	п. Котельский, МБОУ «Котельская СОШ» [Kotelskiy, School]	80–110
14.	п. Котельский, МБДОУ «Детский сад» [Kotelskiy, Kindergarten]	85–230
15.	д. Большая Пустомержа, МБОУ «Пустомержская СОШ» [Bolshaya Pustomerzha, School]	604–2200
16.	д. Большая Пустомержа, МБДОУ «Детский сад» [Bolshaya Pustomerzha, Kindergarten]	40–230
17.	д. Большое Кузёмкино, МБДОУ «Детский сад» [Bolshoe Kuzemkino, Kindergarten]	60–165
18.	д. Вистино, МБОУ «Вистинская СОШ» [Vistino, School]	130–505
19.	д. Вистино, МБДОУ д. Вистино [Vistino, Kindergarten]	470–705
20.	п. Кингисеппский, МБОУ «Александр-Горская ООШ» [Kingiseppskiy, School]	56–185
21.	п. Кингисеппский, МБДОУ п. Кингисеппский [Kingiseppskiy, Kindergarten]	65–130

№	Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, children institution]	Диапазон OA_{pm} , Бк/м ³ [Range of measured radon concentrations, Bq/m ³]
22.	д. Ополье, МБОУ «Опольевская ООШ» [Opolye, School]	110–280
23.	д. Ополье, МБДОУ «Детский сад» [Opolye, Kindergarten]	104–410
24.	п. Усть-Луга, МБДОУ «Детский сад» [Ust-Luga, Kindergarten]	65–95
25.	д. Фалилеево, МБДОУ «Детский сад» [Falileevo, Kindergarten]	267–530
26.	д. Фалилеево, МБОУ «Фалилеевская ООШ» [Falileevo, School]	730–1930

Опыт Ленинградской области по проведению системных исследований уровней содержания радона в помещениях ДУ в рамках совместных научно-исследовательских работ с ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева представляется целесообразным распространить и на другие проблемные по радону регионы Российской Федерации.

Литература

1. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva: WHO Press; 2009. 110 p.
2. Man-made fibres and radon. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans, Volume 43. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1988. 309 p.
3. Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., и др. Результаты выборочного исследования содержания радона в помещениях детских дошкольных и школьных организаций Ленинградской области // Здоровье населения и среда обитания. 2017. № 10 (295). С. 46–49.
4. Историк О.А., Еремина Л.А., Кормановская Т.А., и др. Уровни содержания радона в воздухе помещений детских учреждений Волосовского района Ленинградской области. Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы радиационной гигиены», Санкт-Петербург, 23-24 октября 2018 г. СПб., 2018. С. 132–135.
5. Историк О.А., Еремина Л.А., Барковский А.Н., и др. Облучение населения Ленинградской области за счет природных источников ионизирующего излучения // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 91–97. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-91-97.
6. Вялов В.И., Ларичев А.И., Балахонова А.С. Рудогенез дикиониевых сланцев и оболовых песчаников Прибалтийского бассейна // Региональная геология и металлогения. 2013. № 55. С. 87–98.
7. Дверницкий Б.Г., Стружек В.С., Ядута В.А., и др. Отчет о специализированных радиозологических исследованиях в Ленинградской области по проблеме радона в 1992–1999 гг. СПб.: ГГП Севзапгеология, 1999. 94 с.

Поступила: 14.05.2021 г.

Кормановская Татьяна Анатольевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: f4dos@mail.ru

Историк Ольга Александровна – руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Еремина Людмила Алексеевна – кандидат медицинских наук, заместитель начальника отдела санитарного надзора Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

Королева Надежда Андреевна – старший научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Балабина Татьяна Анатольевна – ведущий инженер-исследователь лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Кононенко Дмитрий Викторович – научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Кокоулина Елена Сергеевна – ведущий инженер-исследователь лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Васильев Алексей Серафимович – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Кормановская Т.А., Историк О.А., Романович И.К., Еремина Л.А., Королева Н.А., Балабина Т.А., Кононенко Д.В., Кокоулина Е.С., Васильев А.С. Исследование уровней содержания радона в воздухе помещений зданий детских учреждений // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 6–20. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-6-20

Radon surveys in the buildings of children institutions

Tatyana A. Kormanovskaya ¹, Olga A. Istorik ², Ivan K. Romanovich ¹, Lyudmila A. Eremina ², Nadezhda A. Koroleva ¹,
Tatyana A. Balabina ¹, Dmitry V. Kononenko ¹, Elena S. Kokoulina ¹, Alexey S. Vasilyev ¹

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

² Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Leningrad Region, Saint-Petersburg, Russia

The paper presents data on indoor radon concentrations in the buildings of children institutions in a number of regions of the Russian Federation. The results of detailed radon surveys in 132 buildings of children institutions in 85 settlements of six districts of the Leningrad Region conducted in 2018-2020 were analyzed. In 14 buildings of children institutions in the Leningrad region (10.5% of all surveyed buildings) the hygienic limit on the indoor radon EEC was exceeded, the maximum measured value of radon concentration in the premises of children institutions reached 2200 Bq/m³. It seems appropriate to extend the experience of cooperation between the Directorate of the Rospotrebnadzor for the Leningrad Region and the Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev in conducting detailed radon surveys in children institutions on other regions of the Russian Federation that face problems with indoor radon.

Key words: radon concentration, equilibrium equivalent concentration, radon survey, hygienic limit, children institutions.

References

1. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva: WHO Press; 2009. 110 p.
2. Man-made fibres and radon. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans, Volume 43. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1988. 309 p.
3. Romanovich IK, Stamat IP, Kormanovskaya TA, Balabina TA, Koroleva NA, Istorik OA, et al. Results of sampling analysis of radon content in preschool and school organizations in the Leningrad region. *Zdorovie naseleniya i sreda obitaniya = Public Health and Life Environment*. 2017;10(295): 46–9. (In Russian)
4. Istorik OA, Eremina LA, Kormanovskaya TA, Koroleva NA, Balabina TA. Indoor radon concentrations in children institutions in Volosovsky district of the Leningrad region. In: Current issues of radiation hygiene: Materials of the international scientific and practical conference, 23-24 October 2018, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg; 2018. P. 132–135. (In Russian)
5. Istorik OA, Eremina LA, Barkovsky AN, Kormanovskaya TA, Akhmatdinov RR. Exposure of the public of the Leningrad region due to the natural sources of ionizing radiation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 91–7. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-91-97. (In Russian)
6. Vyalov VI, Larichev AI, Balakhonova AS. Ore formation of dicynonema shales and obolus sandstones of the Baltic basin. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya = Regional geology and metallogeny*. 2013;55: 87–98. (In Russian)
7. Dvernitsky BG, Struzhek VS, Jaduta VA, et al. Report on specialized radioecological research in the Leningrad region on the radon problem in 1992-1999. St. Petersburg: GGP Sevzapgeologija; 1999. 94 p. (In Russian)

Received: May 14, 2021

Tatyana A. Kormanovskaya

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Adress for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: f4dos@mail.ru

For correspondence: Tatyana A. Kormanovskaya – PhD, Leading researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russian Federation. E-mail: f4dos@mail.ru)

Olga A. Istorik – Head of the Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in the Leningrad Region, Saint-Petersburg, Russia

Ivan K. Romanovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

Lyudmila A. Eremina – PhD, Deputy Head of the sanitary supervision department of the Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Leningrad Region, St-Petersburg, Russia

Nadezhda A. Koroleva – Senior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

Tatyana A. Balabina – Leading research engineer, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

Dmitry V. Kononenko – Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1392-1226>

Elena S. Kokoulina – Leading research engineer, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

Alexey S. Vasilyev – Acting junior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Kormanovskaya T.A., Istorik O.A., Romanovich I.K., Eremina L.A., Koroleva N.A., Balabina T.A., Kononenko D.V., Kokoulina E.S., Vasilyev A.S. Radon surveys in the buildings of children institutions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 6-20. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-6-20

Влияние учета химической токсичности ^{238}U на величину его предельно допустимого выброса в атмосферный воздух

А.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина, А.А. Бурякова

Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия

В настоящее время установление нормативов предельно допустимых выбросов ^{238}U в атмосферный воздух проводится исключительно на основе критерия радиационного воздействия на население. При этом по своему токсическому действию уран относится к 1-му классу опасности (чрезвычайно опасные химические вещества). Проведено сравнение ограничения выброса ^{238}U в атмосферный воздух с учетом только радиационного воздействия, с использованием действующих методик расчета предельно допустимых выбросов и с учетом химической токсичности урана. Показано, что предельно допустимый выброс ^{238}U , рассчитанный по критерию соблюдения годовой дозовой квоты облучения населения, в 100–250 раз выше максимального выброса, оцененного по критерию химической токсичности урана. Установленный в НРБ-99/2009 предел годового поступления ^{238}U с пищей для населения 8400 Бк/год при условии равномерного поступления соответствует 184 мкг/кг массы тела в сутки для указанной возрастной группы, что превышает оцененный ВОЗ уровень допустимого суточного поступления урана по токсичности в 306 раз. Соблюдение санитарных правил в области радиационной безопасности населения при нормировании выбросов ^{238}U не гарантирует того, что поступление урана в организм человека не превысит безопасных по токсичности уровней, оцененных ВОЗ. Необходимо провести актуализацию установленного значения предела годового поступления ^{238}U для населения с учетом современных публикаций ВОЗ и результатов исследований в области токсичности урана и включить откорректированное значение в систему нормирования предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

Ключевые слова: уран, нормирование, население, атмосферный воздух, предельно допустимый выброс, доза, токсичность.

Введение

Радиоактивный изотоп ^{238}U входит в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды¹. В настоящее время предельно допустимый выброс в атмосферный воздух (ПДВ) ^{238}U как ра-

диоактивного вещества устанавливается таким образом, чтобы годовая эффективная доза облучения критической группы населения от выбросов предприятия в условиях нормальной эксплуатации не превышала установленную дозовую квоту². По своему токсическому действию уран относится к 1-му классу опасности – чрезвычайно опасные химические вещества^{3,4}, при этом удельная активность ^{238}U

¹ Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (с изменениями и дополнениями)» [Order of the Government of the Russian Federation of 8.07.2015 No. 1316-r «On approval of the list of pollutants subject to state regulation measures in the field of environmental protection (with amendments and additions)» (In Russ.)]

² Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Утверждена приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639. [Methodology for development and establishment of radioactive substances maximum permissible atmospheric discharge limits approved by the order of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service No.639 of 07.11.2012. (In Russ.)]

³ ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 11 с. [Maximum allowable concentrations (MACs) of chemicals in the water of water objects used for drinking and domestic recreation purposes. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2008, 11 p. (In Russ.)]

⁴ ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2018. 176 с. [Maximum allowable concentrations (MACs) of chemicals in air of the working area. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2018, 176 p. (In Russ.)]

Крышев Александр Иванович

Научно-производственное объединение «Тайфун»

Адрес для переписки: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4; E-mail: ecomod@yandex.ru

мала, составляя всего 12,5 Бк/мг [1]. В связи с этим возникает вопрос о достаточности ограничения выбросов ^{238}U исключительно по критерию его радиационного воздействия на население.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в результате изучения последствий военного применения обедненного урана дала оценку допустимого суточного поступления урана в организм человека [2–4]. Под допустимым суточным поступлением (синонимы – референтная концентрация, переносимое суточное поступление и др.) понимается «воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое устанавливается с учетом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения»⁵.

Допустимое суточное поступление урана в растворимой и частично растворимой форме ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, карбонаты урана, UO_3 , UF_4 , UCl_4) пероральным и ингаляционным путем по оценке ВОЗ 2001 г. составляло 0,5 мкг/кг массы тела в сутки, в нерастворимой форме (UO_2 , U_3O_8) – 5 мкг/кг массы тела в сутки [2]. В 2004 г. допустимое суточное поступление пероральным путем урана в растворимой форме было пересмотрено ВОЗ, составив 0,6 мкг/кг массы тела в сутки [3]. Это значение было принято Европейским агентством по безопасности продуктов питания [5], Министерством здравоохранения и медицинских исследований Австралии [6], Министерством здравоохранения Канады [7]. Агентством по регистрации токсичных веществ и заболеваний США допустимое суточное поступление урана было оценено равным 0,2 мкг/кг массы тела в сутки [8], Агентством по безопасности продуктов питания Великобритании – 0,5 мкг/кг массы тела в сутки [9].

В России действуют гигиенические нормативы, накладывающие ограничения на концентрацию урана в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Предельно допустимая концентрация (ПДК) урана в воде установлена на уровне 15 мкг/л³. Проблема учета этого фактора при определе-

нии допустимых сбросов ^{238}U была рассмотрена нами ранее [10]. Отметим, что потребление взрослым человеком питьевой воды, содержащей ^{238}U на уровне, соответствующем ПДК в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, приведет к суточному поступлению урана 30 мкг/сут, или 0,43 мкг/кг тела в сутки.

До 1999 г. санитарные правила накладывали ограничение на величину предела годового поступления ^{238}U для населения, исходя из его химической токсичности. Допустимый предел годового поступления ^{238}U (ПГП) для населения составлял 50 мг/год или 600 Бк/год⁶. В действующих санитарных правилах химическая токсичность урана учитывается только при ограничении годового поступления ^{238}U ингаляционным путем для персонала на уровне 2,5 мг/сут и 500 мг/год⁷. Величина допустимого суточного поступления урана для населения санитарными правилами не установлена. Таким образом, в настоящее время при расчете нормативов предельно допустимых выбросов ^{238}U в атмосферный воздух токсическое действие урана не учитывается.

Цель исследования – сравнение ограничения выброса ^{238}U в атмосферный воздух с учетом только радиационного воздействия с использованием действующих методик расчета ПДВ^{8,9} и с учетом химической токсичности урана.

Задачи исследования

Задачей исследования является оценка того, насколько ограничение на поступление ^{238}U в организм человека, обусловленное токсичностью этого элемента, может повлиять на расчетную величину ПДВ ^{238}U в атмосферный воздух.

Материалы и методы

Расчет годовой дозы облучения населения от выбросов ^{238}U проводится с учетом следующих путей: внутреннее облучение от потребления загрязненных продуктов

⁵ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с. [R 2.1.10.1920-04. Guidelines for health risk assessment of exposure to chemical substances polluting the environment. Moscow: Federal Center of Gossanepidnadzor of the Ministry of Health of Russia, 2004, 143 p. (In Russ.)]

⁶ Нормы радиационной безопасности (НРБ-96). Гигиенические нормативы (ГН 2.6.1.054-96). М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 127 с. [Radiation Safety Standards (NRB-96). Hygienic Standards (GN 2.6.1.054-96). Moscow, Information and Publishing Center of Goskomsanepidnadzor of Russia, 1996, 127 p. (In Russ.)]

⁷ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с. [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009): Sanitary Rules and Standards (SanPiN 2.6.1.2523-09). Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russ.)]

⁸ Методические рекомендации по расчету нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ из организованных источников в атмосферный воздух применительно для организаций Госкорпорации «Росатом». Утверждены 15.07.2014 г. № 1-1/310-П. М., Росатом, 2014. [Methodological guidelines for calculating the maximum permissible emissions of radioactive substances from organized sources into the atmosphere for organizations of the State Atomic Energy Corporation «Rosatom». Approved by the State Atomic Energy Corporation «Rosatom» No 1-1/310-P of 15.07.2014. (In Russ.)]

⁹ РБ-106-15. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуются методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. М., Ростехнадзор, 2015. [RB-106-15. Safety guide on nuclear energy use. Recommended methods of parameters calculation which are necessary to prepare and establish permissible limits of radioactive substances discharges into atmosphere. Moscow, Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service (Rostekhnadzor), 2015. (In Russ.)]

питания и вдыхания радионуклида, внешнее облучение от облака и почвы⁸.

Доза внешнего облучения от облака, Зв/год, рассчитывается по формуле:

$$D_{cloud} = Q \cdot G \cdot R_{cloud} \cdot K_{cloud}, \quad (1)$$

где Q – годовой выброс радионуклида через вентиляционную трубу предприятия, Бк/год; G – среднегодовой фактор метеорологического разбавления, с/м³; $R_{cloud} = 2,5 \cdot 10^{-18}$ Зв·м³/(Бк·с) – дозовый коэффициент ²³⁸U при внешнем облучении от облака¹⁰; K_{cloud} – коэффициент, учитывающий эффект экранирования зданиями γ -излучения от радиоактивного облака и неполного пребывания человека на открытой местности. Для человека, проживающего в каменном доме, по методике⁸ $K_{cloud} = 0,72$.

Доза внешнего облучения от почвы, Зв/год, рассчитывается по формуле:

$$D_{ext} = Q \cdot (S_d + S_w) \cdot \frac{R_{ext}}{\lambda_{eff}} \cdot K_{ext}, \quad (2)$$

где S_d и S_w – среднегодовой фактор сухого осаждения и влажного выведения радионуклида на подстилающую поверхность, соответственно, м⁻²; $R_{ext} = 4,23 \cdot 10^{-19}$ Зв·м²/(Бк·с) – дозовый коэффициент ²³⁸U при внешнем облучении от почвы¹⁰; K_{ext} – коэффициент, учитывающий эффект экранирования зданиями γ -излучения от радиоактивных выпадений на почву и неполного пребывания человека на открытой местности. Для человека, проживающего в каменном доме, по методике⁸ $K_{ext} = 0,44$.

Доза облучения от вдыхания радионуклида, Зв/год, для j -й возрастной группы населения рассчитывается по формуле:

$$D_{inh,j} = Q \cdot G \cdot R_{inh,j} \cdot U_j, \quad (3)$$

где $R_{inh,j}$ – дозовый коэффициент при вдыхании ²³⁸U, Зв/Бк; U_j – среднегодовая интенсивность дыхания, м³/с; значения этих характеристик для каждой возрастной группы указаны в методике МУ 2.6.5.010-2016¹⁰;

Доза облучения от потребления загрязненных продуктов питания для j -й возрастной группы населения, Зв/год, рассчитывается по формуле:

$$D_{ing,j} = Q \cdot R_{ing,j} \cdot \sum_k F_{k,j} \cdot (K_{S_{1,k}} \cdot (S_d + 0,2 \cdot S_w) + K_{S_{2,k}} \cdot (S_d + S_w)), \quad (4)$$

где $R_{ing,j}$ – дозовый коэффициент при пероральном поступлении ²³⁸U, Зв/Бк; $F_{k,j}$ – годовое потребление k -го продукта питания, кг; $K_{S_{1,k}}$ и $K_{S_{2,k}}$ – коэффициенты перехода ²³⁸U в k -й продукт питания при непрерывных выпадениях

в течение года для воздушного и корневого путей загрязнения соответственно, м²/кг. Для перехода ²³⁸U в продукты питания методика расчета ПДВ⁸ рекомендует следующие значения $K_{S_{1,k}}$, м²/кг: молоко $1,7 \cdot 10^{-3}$, мясо $4,5 \cdot 10^{-4}$, хлеб $4,1 \cdot 10^{-2}$, картофель $1,2 \cdot 10^{-3}$, овощи $7,12 \cdot 10^{-3}$, фрукты $5 \cdot 10^{-3}$; рекомендованные значения $K_{S_{2,k}}$, м²/кг: молоко $2 \cdot 10^{-6}$, мясо $5,3 \cdot 10^{-7}$, хлеб $7,5 \cdot 10^{-4}$, картофель $2,1 \cdot 10^{-4}$, овощи $2,75 \cdot 10^{-4}$, фрукты $2,3 \cdot 10^{-4}$.

Предельно допустимый выброс ²³⁸U в атмосферный воздух (Бк/год) с учетом только радиационного фактора воздействия $ПДВ = \min(ПДВ_j)$, где

$$ПДВ_j = D_q \cdot \left(G \cdot R_{cloud} \cdot K_{cloud} + (S_d + S_w) \cdot \frac{R_{ext}}{\lambda_{eff}} \cdot K_{ext} + G \cdot R_{inh,j} \cdot U_j + R_{ing,j} \cdot \sum_k F_{k,j} \cdot (K_{S_{1,k}} \cdot (S_d + 0,2 \cdot S_w) + K_{S_{2,k}} \cdot (S_d + S_w)) \right), \quad (5)$$

D_q – годовая дозовая квота облучения населения от выбросов предприятия. В общем случае $D_q = 10^{-3}$ Зв/год⁷.

Если при ограничении выброса ²³⁸U в атмосферный воздух учитывать его химическую токсичность, то, предполагая равномерное поступление радионуклида в окружающую среду в течение года, максимальный выброс (МВ, Бк/год), можно рассчитать по формуле $МВ = \min(МВ_j)$, где:

$$МВ_j = P_j \cdot \left(G \cdot U_j + \sum_k F_{k,j} \cdot (K_{S_{1,k}} \cdot (S_d + 0,2 \cdot S_w) + K_{S_{2,k}} \cdot (S_d + S_w)) \right)^{-1}, \quad (6)$$

$P_j = p \cdot K_p \cdot M_j \cdot T$; p – допустимое суточное поступление ²³⁸U в организм человека, мкг·(кг·сут)⁻¹; K_p – количество Бк в мкг ²³⁸U; $T = 365$ сут/год; M_j – масса тела человека из j -й возрастной группы, принятая равной для детей 1–2 лет 10 кг, 2–7 лет – 16 кг, 7–12 лет – 28 кг, 12–17 лет – 52 кг, взрослых – 70 кг [11].

Результаты и обсуждение

Для сравнения расчетных значений ПДВ и МВ предположим, что постоянный и равномерный в течение года выброс ²³⁸U осуществляется из вентиляционной трубы высотой 50 м, проживание населения возможно на расстоянии не менее 500 м от источника выброса. Для примера используем характерные значения метеорологических характеристик для Московской области. Тогда по методике⁸ характерное расчетное значение среднегодового фактора метеорологического разбавления на расстоянии 500 м от источника выброса составит $G = 10^{-6}$ с/м³; среднегодового фактора сухого осаждения $S_d = 8 \cdot 10^{-9}$ м⁻² и влажного выведения $S_w = 2 \cdot 10^{-10}$ м⁻². Годовое потребление продуктов

¹⁰ МУ 2.6.5.010-2016. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. М., ФМБА России, 2016. [МУ 2.6.5.010-2016. Justification of borders and operating conditions of sanitary protection zones and radiation monitoring zones. Moscow, Federal Medical-Biological Agency of Russia (FMBA), 2016. (In Russ.)]

¹¹ НТД 38.220.56-84 Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения. МХО Интератомэнерго, М., Энергоатомиздат, 1984. [NTD 38.220.56-84 «Methods for calculation of NPP-generated radioactive substances dispersion and exposure of local population». MHO Interatomenergo, Moscow, Energoatomizdat, 1984. (In Russ.)]

питания взрослым человеком зададим равным средним значениям за 2015–2019 гг. для жителей Московской области, кг [12]: молоко – 242, мясо – 103, хлеб – 122, картофель – 89, овощи – 104, фрукты – 65. Годовое потребление для других возрастных групп рассчитано с использованием долей потребления отдельных продуктов питания детьми относительно взрослых из методики НТД 38.220.56-84¹¹. Поступление ^{238}U в организм человека при заданных условиях более чем на 99% обусловлено потреблением продуктов питания.

Значения P_j определены, исходя из оцененного ВОЗ допустимого суточного поступления урана в растворимой форме – 0,6 мкг/кг массы тела в сутки [3]. Соответствующее годовое поступление ^{238}U при условии постоянного и равномерного выброса ^{238}U в течение года составляет для детей 1–2 лет – 27 Бк/год, 2–7 лет – 44 Бк/год, 7–12 лет – 77 Бк/год, 12–17 лет – 142 Бк/год, для взрослых – 191 Бк/год. Для сравнения – если взрослый человек потребляет питьевую воду, в которой ^{238}U содержится на уровне ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования³, то это приведет к поступлению данного радионуклида в количестве 137 Бк/год, что несколько ниже значения, полученного с использованием оценки ВОЗ.

Для рассмотренного примера в таблице 1 представлены расчетные величины ПДВ ^{238}U в атмосферный воздух по радиационному фактору и МВ ^{238}U , оцененного с учетом его химической токсичности.

Таблица 1

Предельно допустимый выброс ^{238}U по радиационному фактору и максимальный выброс, оцененный с учетом химической токсичности урана, Бк/год

[Table 1]

Permissible atmospheric release of ^{238}U by radiation factor and its maximum atmospheric release, estimated with accounting the uranium chemical toxicity, Bq/year

Возраст, лет [Age, years]	ПДВ (по радиационному фактору) [Permissible atmospheric release (by the radiation factor)]	МВ (по химической токсичности) [Maximum release (by chemical toxicity)]
1–2	$6,8 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^9$
2–7	$3,7 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^9$
7–12	$2,7 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^9$
12–17	$2,3 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^9$
Взрослые (> 17) [Adult (> 17)]	$3,8 \cdot 10^{11}$	$3,5 \cdot 10^9$
Итоговое значение [Total value]	$2,3 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^9$

Как видно из таблицы 1, для всех возрастных групп предельно допустимый выброс ^{238}U , рассчитанный по радиационному фактору – критерию соблюдения годовой дозовой квоты облучения населения, значительно выше максимального выброса, определенного по критерию химической токсичности урана. Различие составляет от 100 до 250 раз, итоговое значение МВ ^{238}U с учетом его химической токсичности ниже ПДВ в 153 раза. Таким образом, выполнение санитарных правил в области радиационной

безопасности населения при нормировании выбросов ^{238}U не гарантирует автоматически, что поступление урана в организм человека не превысит по химической токсичности уровней, оцениваемых ВОЗ как безопасные, не приводящие к возникновению неприемлемого риска для здоровья.

В таблице 2 приведены значения предела годового поступления ^{238}U с пищей для разных возрастных групп, рассчитанные по радиационному фактору, по формуле $\text{ПГП}_j = D_q / R_{\text{ing},j}$. Для сравнения показаны пересчитанные в Бк значения максимального годового поступления ^{238}U МГП, соответствующие равномерному суточному поступлению в организм человека урана в растворимой форме в количестве 0,6 мкг/кг массы тела в сутки.

Таблица 2

Предел годового поступления ^{238}U для населения с пищей по радиационному фактору и максимальное годовое поступление, оцененное с учетом химической токсичности урана, Бк/год

[Table 2]

Annual intake limit of ^{238}U by food to population by radiation factor and its maximum annual intake, estimated with accounting the uranium chemical toxicity, Bq/year

Возраст, лет [Age, years]	ПГП (радиационный фактор) [Annual intake limit (by radiation factor)]	МГП (химическая токсичность) [Maximum annual intake (chemical toxicity)]
1–2	$8,4 \cdot 10^3$	27
2–7	$1,3 \cdot 10^4$	44
7–12	$1,5 \cdot 10^4$	77
12–17	$1,5 \cdot 10^4$	142
Взрослые (> 17) [Adult (> 17)]	$2,2 \cdot 10^4$	191

Для всех возрастных групп населения значения МГП ^{238}U , рассчитанные с учетом его химической токсичности, значительно ниже пределов годового поступления по радиационному фактору (в 100–300 раз). Предел годового поступления ^{238}U с пищей 8400 Бк/год для детей в возрасте 1–2 лет, указанный в приложении 2 НРБ-99/2009⁷, при условии равномерного поступления урана в организм человека в течение года соответствует суточному поступлению 23 Бк/сут. В пересчете это составляет 1840 мкг/сут, для ребенка в возрасте 1–2 лет 184 мкг/кг массы тела в сутки, что превышает оцененный ВОЗ уровень допустимого суточного поступления по химической токсичности в 306 раз. Это подтверждает необходимость анализа и пересмотра установленного значения предела годового поступления ^{238}U для населения с учетом современных публикаций ВОЗ и результатов исследований в области химической токсичности урана.

В настоящее время выбросы ^{238}U в атмосферный воздух предприятиями атомной отрасли нормируются только по радиационному фактору воздействия на население. Учет и контроль выбросов ^{238}U в атмосферный воздух производится в единицах активности (Бк/год) в соответствии с действующими разрешениями на выброс радиоактивных веществ. Решение проблемы учета химической токсичности ^{238}U путем установления для его выбросов

отдельных нормативов в мг/год, с включением их в решение на выброс химических веществ, по нашему мнению, не является оптимальным, поскольку в этом случае организации придется вести двойной учет и контроль одной и той же характеристики в разных единицах измерения. Более целесообразным подходом представляется научно обоснованная корректировка значений предела годового поступления ^{238}U для населения с учетом его химической токсичности, после чего значения ПГП можно будет использовать при разработке и установлении нормативов ПДВ ^{238}U в атмосферный воздух.

Заключение

Учет химической токсичности урана может оказать значительное влияние на величину ПДВ ^{238}U в атмосферный воздух. Предельно допустимый выброс ^{238}U , рассчитанный из условия соблюдения годовой дозовой квоты облучения населения, для разных возрастных групп в 100–250 раз выше максимального выброса, определенного по критерию химической токсичности урана. Выполнение санитарных правил в области радиационной безопасности населения при нормировании выбросов ^{238}U не гарантирует автоматически, что поступление урана в организм человека не превысит по химической токсичности уровней, оцениваемых ВОЗ как безопасные, не приводящие к возникновению неприемлемого риска для здоровья. Необходима научно обоснованная корректировка действующих значений предела годового поступления ^{238}U для населения с учетом современных публикаций ВОЗ и результатов исследований в области химической токсичности урана. Откорректированные значения ПГП ^{238}U для населения могут быть включены в систему нормирования предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

Литература

1. IAEA Safety Standards. Advisory material for the IAEA regulations for the safe transport of radioactive material. Specific Safety Guide No. SSG-26. IAEA, Vienna, 2014. 450 p.
2. WHO – World Health Organization. Depleted uranium: sources, exposure and health effects. WHO, Geneva, 2001. 209 p.
3. WHO – World Health Organization. Uranium in drinking water. Background document for derivation of WHO guidelines for drinking-water quality. WHO, Geneva, 2004. 15 p.
4. Bleise A., Danesi P.R., Burkart W. Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview // Journal of Environmental Radioactivity. 2003. Vol. 64. P. 93–112. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(02\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00041-3).
5. EFSA – European Food Safety Authority. Uranium in foodstuffs, in particular mineral water. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain // The EFSA Journal. 2009. Vol. 1018. P. 1–59.
6. NHMRC – National Health and Medical Research Council. Australia drinking water guidelines 6: 2011. Version 2.0, December 2013. NHMRC, Canberra, 2013.
7. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Uranium. Guideline Technical Document. Health Canada, Ottawa, 2019. 87 p.
8. ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for uranium. ATSDR, US Department of Health and Human Services, Atlanta (GA), 2013. 526 p.
9. UKFSA – United Kingdom Food Safety Authority. Uranium-238 in the 2001 total diet study. Food survey information sheet 56/04. UKFSA, London, 2005.
10. Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Павлова Н.Н. Вопросы нормирования поступления ^{238}U в поверхностные воды с учетом его радиационного и токсического действия // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 41–46. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-41-46>.
11. Rodd C., Metzger D.L., Sharma A. Extending World Health Organization weight-for-age reference curves to older children // BMC Pediatrics. 2014. Vol. 14, № 32. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-14-32>.
12. Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации – 2020 г. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278> (дата обращения: 02.11.2020 г.)

Поступила: 30.11.2020 г.

Крышев Александр Иванович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией эколо-геофизического моделирования и анализа риска, «Научно-производственное объединение «Тайфун»» Росгидромета. Адрес для переписки: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4; E-mail: esomod@yandex.ru

Сазыкина Татьяна Григорьевна – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории эколо-геофизического моделирования и анализа риска, «Научно-производственное объединение «Тайфун»» Росгидромета, Обнинск, Россия

Бурякова Анна Александровна – младший научный сотрудник лаборатории эколо-геофизического моделирования и анализа риска, «Научно-производственное объединение «Тайфун»» Росгидромета, Обнинск, Россия

Для цитирования: Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Бурякова А.А. Влияние учета химической токсичности ^{238}U на величину его предельно допустимого выброса в атмосферный воздух // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 21–26. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-21-26

Impact of accounting of ^{238}U chemical toxicity on its permissible release level to atmosphere

Alexander I. Kryshev, Tatiana G. Sazykina, Anna A. Buryakova

Research and Production Association «Typhoon», Roshhydromet, Obninsk, Russia

At present, the permissible atmospheric release levels of ^{238}U are evaluated only on a basis of its radiation impact on population. At the same time, uranium belongs to the 1st hazard class (extremely dangerous chemicals) by its toxic effect. Limitation of the ^{238}U release to the atmosphere is calculated separately using two criteria – radiation protection (annual dose limits) and chemical toxicity of uranium. It is shown that the permissible release level of ^{238}U by radiation criteria is 100 – 250 times higher than the maximum release level limited by chemical toxicity of uranium. Annual intake limit of ^{238}U for population 8400 Bq/year, established by Radiation Safety Norms NRB-99/2009, under condition of its uniform intake is equal to 184 mkg/kg of body mass per day for the indicated age group. It is 306 times higher than the tolerable daily intake of uranium estimated by World Health Organization. Compliance with the public health regulations in radiation safety does not guarantee that the annual intake of uranium by population would not exceed the tolerable toxicity levels indicated by World Health Organization. Therefore, the established value of the annual intake limit of ^{238}U for the population needs to be revised taking into account the recent World Health Organization publications and the research results in the field of chemical toxicity of uranium. The revised value could be incorporated to the system of establishing the permissible atmospheric releases levels of radioactive substances.

Key words: uranium, norms, population, atmosphere, permissible release level, dose, chemical toxicity.

References

1. IAEA Safety Standards. Advisory material for the IAEA regulations for the safe transport of radioactive material. Specific Safety Guide No. SSG-26. IAEA, Vienna, 2014. 450 p.
2. WHO – World Health Organization. Depleted uranium: sources, exposure and health effects. WHO, Geneva, 2001. 209 p.
3. WHO – World Health Organization. Uranium in drinking water. Background document for derivation of WHO guidelines for drinking-water quality. WHO, Geneva, 2004. 15 p.
4. Bleise A, Danesi PR, Burkart W. Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2003;64: 93–112. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(02\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00041-3).
5. EFSA – European Food Safety Authority. Uranium in foodstuffs, in particular mineral water. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *The EFSA Journal*. 2009;1018: 1–59.
6. NHMRC – National Health and Medical Research Council. Australia drinking water guidelines 6: 2011. Version 2.0, December 2013. NHMRC, Canberra, 2013.
7. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Uranium. Guideline Technical Document. Health Canada, Ottawa, 2019. 87 p.
8. ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for uranium. ATSDR, US Department of Health and Human Services, Atlanta (GA), 2013. 526 p.
9. UKFSA – United Kingdom Food Safety Authority. Uranium-238 in the 2001 total diet study. Food survey information sheet 56/04. UKFSA, London, 2005.
10. Kryshev AI, Sazykina TG, Pavlova NN. Issues of establishing the permissible discharge levels of ^{238}U to surface waters taking into account its radiation and toxic effects. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 41–46. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-41-46>. (In Russian).
11. Rodd C, Metzger DL, Sharma A. Extending World Health Organization weight-for-age reference curves to older children. *BMC Pediatrics*. 2014;14(32). <https://doi.org/10.1186/1471-2431-14-32>.
12. Consumption of basic food products by the population of the Russian Federation – 2020 r. Federal State Statistics Service of Russia (Rosstat). – Available on: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278> (Accessed: 02.11.2020 r.) (In Russian).

Received: November 30, 2020

For correspondence: Alexander I. Kryshev – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Ecological and geophysical modeling and risk analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshhydromet (Pobedy str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249038, Russia; E-mail: ecomod@yandex.ru)

Tatiana G. Sazykina – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Ecological and geophysical modeling and risk analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshhydromet, Obninsk, Russia

Anna A. Buryakova – Researcher of the Laboratory of Ecological and geophysical modeling and risk analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshhydromet, Obninsk, Russia

For citation: Kryshev A.I., Sazykina T.G., Buryakova A.A. Impact of accounting of ^{238}U chemical toxicity on its permissible release level to atmosphere. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 21–26. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-21-26

Alexander I. Kryshev

Research and Production Association «Typhoon»

Address for correspondence: Pobedy str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249038, Russia; E-mail: ecomod@yandex.ru

Анализ влияния особенностей радиационных аварий на кризисную риск-коммуникацию

А.М. Библин, А.А. Давыдов, Н.М. Вишнякова, Р.Р. Ахматдинов, Л.В. Репин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

При возникновении радиационных аварий и инцидентов, связанных с возможной угрозой для здоровья населения, одним из инструментов формирования здоровьесберегающего поведения населения, обеспечения социальной приемлемости защитных мероприятий и снижения социальной напряженности является кризисная риск-коммуникация. Радиационные аварии и инциденты, связанные с потенциальной возможностью радиационного загрязнения значительных по площади территорий или воздействия на население, могут стать основой для возникновения резонансных информационных поводов. Должным образом организованная информационная работа с населением в подобных ситуациях является одним из необходимых условий эффективности противоаварийных мероприятий в целом. В статье проанализировано влияние на кризисную риск-коммуникацию некоторых особенностей радиационных аварий и инцидентов, произошедших в последние годы, оказавших существенное влияние на возможность или невозможность следования общим принципам кризисной коммуникации; приводятся примеры рекомендаций по корректировке информационной работы при невозможности строгого следования общим принципам кризисной коммуникации в реально сложившихся обстоятельствах. В ходе исследования были выявлены следующие особенности развития конкретных радиационных аварий и инцидентов, оказавшие влияние на ход кризисной коммуникации и создавшие ряд сложностей для специалистов: 1) скрытый характер ранней фазы аварии; 2) отсутствие или умышленное сокрытие сведений о радиационной аварии; 3) трансграничный характер аварии; 4) закрытый (секретный) характер сведений об аварии; 5) повышение уровня радиотревожности у населения территорий, не затронутых аварией; 6) быстрое формирование и распространение мифов; 7) проецирование художественных образов на реальную аварию. Анализ влияния особенностей радиационных аварий и инцидентов на кризисную риск-коммуникацию позволил прийти к следующим выводам: 1) кризисная риск-коммуникация является важной составляющей аварийного реагирования, влияющей как на психоэмоциональное состояние населения, так и на эффективность противоаварийных мероприятий, связанных с действиями или бездействием населения; 2) развитие средств информационного взаимодействия и способов распространения и потребления информации требует пересмотра традиционных методов информационной работы с населением; 3) информация должна быть своевременной, объективной, непротиворечивой и понятной как для населения, так и для неспециалистов в области радиационной гигиены, ответственных за принятие управленческих решений; 4) информация не должна представляться в виде кратких сообщений без объяснений; 5) противоречивая агрессивная информация, получаемая населением из разных источников, может вызвать недоверие к официальным источникам информации; 6) при непредставлении актуальной и объективной информации о происходящей аварии доверие населения очень легко потерять и очень трудно восстановить.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, радиационная авария, риск-коммуникация, информирование, население, восприятие риска, радиотревожность

Введение

При появлении в публичном медиапространстве информации о чрезвычайной ситуации одной из задач органов власти, направленных на снижение негативных последствий самой ситуации или информации о ней, является стимулирование здоровьесберегающего поведения

населения, адекватного характеру и степени опасности данной ситуации. Совокупность действий и методов, направленных на решение указанной задачи, называется кризисной риск-коммуникацией.

Всемирная организация здравоохранения определяет риск-коммуникацию¹ как «интерактивный процесс

¹ В различных русскоязычных источниках в качестве синонима термина «Риск-коммуникация» фигурируют следующие понятия: информирование о риске, распространение информации о риске, коммуникация о риске, коммуникация риска и др.

Библин Артём Михайлович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

обмена информацией и мнениями о рисках между специалистами по оценке риска, лицами, принимающими управленческие решения, средствами массовой информации, заинтересованными группами и широкой общественностью» [1]. Риск-коммуникация нацелена на формирование или изменение установок о риске, т.е. сформировавшихся у какой-либо заинтересованной группы представлений об опасности фактора риска и о мерах по снижению негативных последствий воздействия данного фактора [2].

Авторитетными отечественными, зарубежными и международными организациями разработано большое количество методических документов по кризисной риск-коммуникации, предназначенных для специалистов по связям с общественностью и руководителей различного уровня [1, 3, 4]. При этом большинство специалистов сходятся во мнении, что, несмотря на наличие общих принципов коммуникации и большого количества правил и методик, практическая риск-коммуникация является до некоторой степени мастерством, требующим от коммуникатора владения различными методиками коммуникации и применения наиболее подходящих случаю методов на основании собственного опыта [5–9].

Существующие методы коммуникации обладают достаточной универсальностью для распространенных кризисных ситуаций², связанных с небольшими отклонениями от нормального хода технологических процессов и т.п. Если же кризисная ситуация обладает потенциалом для возникновения достаточно серьезного информационного повода, то сценарий развития каждой подобной ситуации может обладать рядом особенностей, существенным образом влияющих на применимость универсальных методик кризисной коммуникации.

Радиационные аварии и инциденты, связанные с потенциальной возможностью радиационного загрязнения значительных по площади территорий или воздействия на достаточно широкий круг лиц из населения, как правило, являются благодатной почвой для возникновения резонансных информационных поводов. Поэтому правильная и эффективная информационная работа с населением в подобных ситуациях является необходимым условием эффективности противоаварийных мероприятий в целом.

В настоящей статье предпринята попытка выделить некоторые особенности развития реально произошедших в последние годы радиационных аварий и инцидентов, оказавших существенное влияние на возможность или невозможность следования общим принципам кризисной коммуникации, и приводятся примеры рекомендаций по корректировке информационной работы при невозможности строгого следования общим принципам кризисной коммуникации в реально сложившихся обстоятельствах.

В зависимости от характера, длительности и степени тяжести несущего угрозу события задачи и методы кризисной риск-коммуникации могут различаться. Особым случаем, тем не менее, требующим кризисной риск-коммуникации, является ситуация отсутствия реальной

угрозы (т.е. распространение кем-либо заведомо ложной информации о наличии угрозы).

Вследствие этого кризисная риск-коммуникация должна быть постоянно действующей системой информационной поддержки принятия решений, работающей от кризиса к кризису.

Особенности кризисной риск-коммуникации во время аварии на Чернобыльской АЭС

Авария на Чернобыльской АЭС стала самой масштабной радиационной аварией в истории человечества [10–14].

При всем масштабе радиационного воздействия на окружающую среду авария на ЧАЭС показала, что социально-психологические негативные последствия могут превышать радиационные [10–12].

Причиной негативных социально-психологических последствий стали, помимо прочего, сложность понимания вопросов радиационной безопасности неспециалистами, в том числе ответственными за принятие управленческих решений, и неэффективная кризисная риск-коммуникация [12, 14–16].

Информирование населения об аварии на ЧАЭС стало предметом многочисленных исследований ученых и журналистов [14–20].

Первое сообщение об аварии 27 апреля распространила радиотрансляционная сеть Припяти [17–20]. Для более массовой аудитории первое сообщение просто о факте аварии произошло спустя 79 ч после аварии – 28 апреля 1986 г. в 21.00 диктор телевизионной программы «Время» зачитал сообщение ТАСС [17–20]. Сообщение было опубликовано после пресс-конференции министра энергетики Швеции, который утверждал, что источник зафиксированного в Швеции повышенного радиационного фона находится не на территории страны, а «восточнее Финляндии». В самых многотиражных газетах СССР того времени – «Известиях» и «Правде» – краткие однотипные заметки о факте возникновения аварии на ЧАЭС появились 29 апреля [21] (рис.) и 30 апреля [22] соответственно.

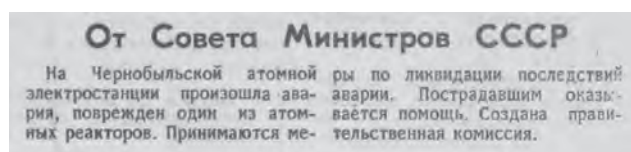


Рис. Публикация в газете «Известия» 29 апреля 1986 г.
[Fig.] Publication in the newspaper «Izvestia» on April 29, 1986]

До 7 мая информирование населения СССР об аварии в газетах остается скудным. 7 мая выходит относительно объемная статья в газете «Правда» [23]. Статья выходит по итогам произошедшей 6 мая в пресс-центре МИД СССР пресс-конференции с участием зарубежных журналистов. Однако в ней достоверно не отражено объективное состояние радиационной обстановки, сложившейся в результате аварии, приведенная информация носит в основном декларативный характер.

² В настоящей статье под кризисными ситуациями будут пониматься радиационные аварии и инциденты, а также появление в медиапространстве информации (как истинной, так и заведомо ложной) о таких событиях.

Генеральный секретарь ЦК КПСС М.С. Горбачев выступил с телевизионным обращением, посвященным аварии, только 14 мая [20].

Многим руководителям была непонятна информация о радиационной обстановке в первые дни после аварии. Например, на информационном сообщении «О взрыве на ЧАЭС» от 28.04.1986 г. первым секретарём ЦК КПУ В.В. Щербицким была поставлена виза: «Что это означает?» [24]. Это в очередной раз свидетельствует о том, что для принятия грамотных управленческих решений объективная, технически грамотная информация должна представляться в доступной для неспециалиста форме.

В результате информационного вакуума главным источником сведений об аварии стали слухи и неофициальная информация [12, 14–16]. Так, например, к моменту официального информирования жителей Припяти об аварии город покинула половина населения [14].

В конце июня 1986 г. были начаты меры по усилению режима секретности. Они касались сведений об аварии, пострадавших ликвидаторов, о результатах их лечения; о радиоактивном загрязнении территорий, запрета на посещение иностранными репортерами 30-километровой зоны вокруг ЧАЭС [14].

Вслед за этим начата мощная пропагандистская кампания. Героизм участников ликвидации последствий аварии стал основной темой в СМИ.

Динамика числа публикаций в ведущих советских газетах об аварии на Чернобыльской АЭС в 1986–1991 гг. представлена в таблице 1.

На 1986 г. приходится наибольшее число публикаций. Материалы были представлены в форме интервью со специалистами, представителями органов власти, писем в редакцию. В более поздние годы большинство материалов были статьями журналистов.

Отсутствие публикаций о детальном положении дел на загрязненных территориях характерно до начала 1989 г. [14–16].

С 1990 г. в прессе после снятия ограничения на распространение информации стало появляться огромное количество материалов об аварии на ЧАЭС. Информация содержала сведения о тяжёлых и неотвратимых медицинских последствиях аварии на ЧАЭС. Материалы зачастую были излишне политизированы, эмоциональны, а порой содержали заведомо ложную, научно не обоснованную информацию [14–18].

В ответ на такое агрессивное, противоречивое информирование у населения в качестве психологической защиты стало формироваться негативное, недоверчивое

отношение к любым сведениям, исходящим из официальных источников. К 1993 г. результатом стало недоверие к любой информации об аварии, получаемой из СМИ, у 80% населения загрязнённых территорий [14–18].

Отсутствие четких инструкций и понимания информации об аварии, в том числе у лиц, принимавших решения, на начальном этапе аварии привело к запаздыванию проведения йодной профилактики, эффективной в первые 10 дней после аварии [12, 14]. Из-за дефицита информации «не более четверти населения хотя бы частично выполняли меры по ограничению употребления местной продукции в пищу», а сразу после аварии некоторые мероприятия защитного характера были не до конца поняты населением. Например, «при запрете выпаса скота животных держали в стойле, но кормили свежескошенной травой; дети в этой семье находились преимущественно на традиционном молочном питании. В другом случае при запрете употребления мяса птицы с собственного подворья (куры, утки находились на свободном выгуле) ребенку не давали отварного мяса птиц, но кормили бульоном» [15]. Для части населения старшего возраста обязательная скупка молока воспринималась как конфискация, а не как мера защитного характера [15, 25].

Введение компенсационных выплат без должного информирования для населения стало признаком наличия опасности [15, 25].

Одним из социально-психологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС стало формирование синдрома жертвы у части ликвидаторов, который впоследствии необходимо было преодолевать [13].

На радиационнозагрязнённых территориях возник такой социально-психологический феномен, как радиотревожность – стресс, эффекты которого затрагивают основные характеристики личности (эмоциональную сферу, ценностные ориентации, мотивации, атрибуцию ответственности и личностную активность) и могут вести к социальной дезадаптации человека в семье, на работе, в обществе [15, 16, 26–30].

Важным уроком аварии на Чернобыльской АЭС в сфере кризисной риск-коммуникации стало осознание того, что при непредставлении актуальной и объективной информации о происходящей аварии доверие населения очень легко потерять и очень трудно восстановить. Данный фактор будет снижать эффективность защитных мер, а также вызовет формирование предрассудков и домыслов, ведущих к возникновению комплекса нежелательных негативных социально-экономических и психологических последствий аварии, помимо радиационных.

Число публикаций в газетах об аварии на Чернобыльской АЭС в 1986–1991 гг.

Таблица 1

[Table 1]

The number of publications in newspapers about the Chernobyl accident in 1986–1991]

Название газеты [Newspaper]	Абсолютное число публикаций об аварии на Чернобыльской АЭС в годах [Absolute number of publications on the Chernobyl accident in years]					
	1986	1987	1988	1989	1990	1991
«Правда» [«Pravda»]	85	8	10	11	34	34
«Известия» [«Izvestia»]	45	5	6	30	43	23

*Восприятие радиационных рисков населением
в кризисных ситуациях*

В условиях повседневной жизни для населения характерен низкий уровень знаний и заинтересованности в знаниях по вопросам радиационной безопасности [31–33]. В момент появления в информационном поле информации о радиационной аварии восприятие ситуации человеком формируется по большей части за счет источников информации, завоевавших доверие у человека в докризисный период [34].

Восприятие риска включает в себя две главные составляющие – понимание [35, 36] и доверие [37, 38]. Смысл данного сочетания заключается в том, что до какой-то степени детализация восприятия основывается на знаниях человека, а дальнейшие представления опираются на оценки лиц, мнению которых человек доверяет. Соотношение этих составляющих в отношении различных факторов риска носит индивидуальный характер [39].

В ситуации стресса, вызванной кризисной ситуацией, возможности человека к восприятию информации отличаются от его обычного состояния. Данные литературы показывают, что стрессовые ситуации приводят к снижению когнитивных способностей до 80% [7–9].

Одной из особенностей восприятия радиационного риска человеком является то, что, с одной стороны, ионизирующее излучение не может восприниматься человеком непосредственно, а с другой стороны, последствия воздействия ионизирующего излучения на человека могут носить отсроченный на многие годы характер. В сочетании с низким уровнем знаний у населения об ионизирующем излучении это дает возможность для спекуляций и манипулирования общественным мнением.

К числу особенностей, существенных для кризисной риск-коммуникации, относится невозможность обнаружения ионизирующего излучения без специального оборудования и знаний по его правильному использованию. Поэтому появление информации о произошедшей радиационной аварии не позволяет человеку самостоятельно ответить на вопрос, подвергся ли он какому-либо вредному воздействию.

В активной фазе любого кризиса одним из важнейших условий эффективной риск-коммуникации является оперативность реагирования на изменение ситуации, времени на подготовку информационных сообщений отводится достаточно мало.

Коллективом информационно-аналитического центра ФБУН НИИРГ имени П.В. Рамзаева был проведен анализ информационного поля (мониторинг СМИ, публикаций и комментариев пользователей социальных сетей и т.п.) в связи с различными радиационными авариями [40, 41]. Поиск информационных материалов в сети Интернет осуществлялся с использованием сервиса «Яндекс Новости».

Для подготовки данной статьи был произведен контент-анализ следующего числа материалов о радиационных авариях и инцидентах по ключевым словам: «Рутений» – 698; «Фукусима» – 2523; «Северодвинск радиация» – 623; «Электросталь радиация» – 129.

Также в ходе анализа информационного поля просматривались сообщества в социальной сети «ВКонтакте» тех населенных пунктов, рядом с которыми произошла

радиационная авария или которые могли быть подвергнуты потенциальному радиоактивному загрязнению. В условиях избытка информации и наличия большого количества источников и публикаций анализировались те источники и публикации, которые могли иметь наибольший охват читателей. Потенциальный охват определялся различными внутренними метриками (количество членов сообщества в социальных сетях, количество просмотров публикации, количество комментариев к публикации, количество репостов и т.д.).

В результате анализа информационного поля были выявлены следующие особенности развития конкретных кризисных ситуаций, оказавшие влияние на ход кризисной коммуникации и создавшие ряд сложностей:

- скрытый характер ранней фазы радиационной аварии;
- отсутствие или умышленное сокрытие сведений о радиационной аварии;
- трансграничный характер радиационной аварии;
- закрытый (секретный) характер сведений о радиационной аварии;
- повышение уровня радиотревожности у населения территорий, не затронутых радиационной аварией;
- быстрое формирование и распространение недостоверной информации;
- проецирование художественных образов на реальную аварию.

Ниже более подробно представлены названные особенности сценариев развития радиационной аварии и кратко изложены возможности по учету данных особенностей при риск-коммуникации.

Скрытый характер ранней фазы радиационной аварии

Первой из выявленных особенностей некоторых радиационных аварий является возможность скрытого характера ранней фазы. Формирование радиоактивного следа может в основном завершиться еще до появления информации о произошедшей аварии. Примером такой ситуации является радиационная авария, вызванная непреднамеренной переплавкой радиоактивного источника на территории Электростальского завода тяжелого машиностроения в г. Электросталь Московской области (не относящегося к радиационным объектам) в 2013 г. [41, 42].

Скрытый характер ранней фазы аварии привел к тому, что появление информации об аварии совпало с началом промежуточной фазы самой аварии, когда радиоактивный след уже сформировался. Сработал эффект информационного запаздывания, вследствие которого первая официальная информация о произошедшей аварии не давала точного и правильного ответа на базовый вопрос: «Что случилось?» [9]. На этом фоне в социальных медиа и на форумах в сети Интернет распространялись слухи. Распространявшаяся впоследствии официальная информация противоречила первоначальному официальному сообщением.

Противоречивость официальной информации является одной из причин снижения доверия к ней, что негативно влияет на достижение целей риск-коммуникации.

Исследование реакции населения на распространяемую информацию о данной аварии [41] позволило сформулировать следующие рекомендации по коррекции стратегий коммуникации:

1. Нельзя допускать распространения недостоверной информации от имени официальных лиц.

2. Следует избегать распространения противоречивой информации из официальных источников.

3. При отсутствии точной информации о произошедшем вследствие информационного запаздывания и скрытого характера ранней фазы радиационной аварии основой риск-коммуникации могут служить только фактические сведения.

В случае отсутствия надежной оценки ожидаемых последствий радиационной аварии наилучшая стратегия заключается в следующем:

1. Честно сказать, что полной информации пока нет.

2. Озвучить наиболее пессимистический прогноз.

3. По мере появления уточненных сведений постепенное смягчение прогноза ожидаемых последствий.

Более высокая эффективность изложенной стратегии смягчения негативных прогнозов по сравнению со стратегией постепенного ужесточения подтверждается результатами научных исследований [5]. Такой подход является универсальным для кризисной риск-коммуникации и показывает существенно лучшие результаты, чем изначальное обнародование «успокаивающей информации» с постепенным ухудшением прогнозов (подобная стратегия приводит к снижению уровня доверия и может привести к снижению эффективности принимаемых защитных мер).

Отсутствие сведений о радиационной аварии

Широкое использование ионизирующего излучения в различных сферах деятельности (включая военную и атомную отрасли) приводит к тому, что в некоторых ситуациях достоверная информация об источнике и характере радиационной аварии может отсутствовать. Примером такой радиационной аварии может служить ситуация, связанная с обнаружением на части территории России и некоторых стран Европы радиоактивного изотопа ^{106}Ru [43].

Правильная стратегия риск-коммуникации с населением в подобных ситуациях играет очень важную роль для формирования здоровьесберегающего поведения населения, сохранения и укрепления доверия к официальным источникам информации.

В условиях отсутствия достоверных собственных сведений об источнике и характере аварии не рекомендуется озвучивать версии и предположения. Желательно прямо указывать на факт отсутствия сведений и озвучивать только фактические данные об уровнях радиационного загрязнения и радиационном риске [7].

Трансграничный характер радиационной аварии

Частным случаем отсутствия полной и достоверной информации о радиационной аварии, а также возможности установления контроля над источником ионизирующего излучения может являться её трансграничный характер. Примером такой аварии является радиационная авария на японской АЭС «Фукусима-1», не приведшая к значительным радиологическим последствиям для стран за пределами Японии. Кризисная риск-коммуникация в случае возникновения таких аварий может быть сосредоточена на мерах, предпринимаемых органами власти для достижения санитарно-эпидемиологического благополучия населения [44]. При этом следует отметить, что трансграничный характер радиационной аварии не

гарантирует отсутствия значительных радиологических и социально-психологических последствий аварии для граждан, проживающих на территории Российской Федерации [45].

Закрытый (секретный) характер сведений о радиационной аварии

В некоторых случаях информация о причинах и источнике аварии, его характеристиках составляет государственную тайну и не может быть обнародована, даже если гипотетически представляет потенциальную угрозу для населения. Примером такой ситуации является событие, произошедшее в 2019 г. недалеко от п. Нёнокса в Архангельской области, вызвавшее интерес за рубежом [46] и приведшее к кратковременному повышению радиационного фона в г. Северодвинске, что было зафиксировано датчиками автоматизированной системы контроля радиационной обстановки [47].

Рекомендуемый подход к информированию населения в такой ситуации заключается в том, чтобы предоставить населению честную информацию о том, что часть сведений об аварии составляет государственную тайну. При этом важно отметить, что абсолютно все показатели радиационной обстановки в местах возможного радиоактивного загрязнения находятся под постоянным контролем и в случае необходимости каких-либо защитных действий со стороны населения оно будет незамедлительно проинформировано об этом.

Повышение уровня радиотревожности у населения регионов, не затронутых аварией

При радиационных авариях, связанных с выбросом в атмосферу даже сравнительно небольших количеств радиоактивных веществ, они могут обнаруживаться и на очень значительном расстоянии от места аварии и вызывать повышенный интерес и беспокойство у жителей регионов, удаленных от места аварии [48, 49]. Помимо обнаружения радиоактивных веществ в атмосферном воздухе отдаленных от места аварии регионов, существуют и другие сценарии, вследствие которых возникает необходимость в кризисной риск-коммуникации с населением отдаленных от места аварии регионов.

Высокая социальная значимость радиационного фактора и повышенный интерес к данному вопросу со стороны медиа требуют уделить внимание подобным случаям и реагировать на них, опираясь на те же принципы, что и при риск-коммуникации с населением, проживающим вблизи места радиационной аварии.

Быстрое распространение недостоверной информации

В обычных безаварийных условиях население не проявляет особого интереса по отношению к проблемам радиационной безопасности и редко испытывает необходимость в повышении уровня знаний в данной области. По этой причине, а также по причине сложности и специфичности информации о воздействии радиации на человека в условиях кризисной ситуации очень часто возникают информационные волны, связанные с распространением той или иной недостоверной информации. Ионизирующее излучение является мифологизированным фактором окружающей среды, при этом некоторые мифы возникают в ответ на какую-либо особенность про-

изошедшей аварии, другие мифы сопровождают почти любую радиационную аварию [50].

Люди и СМИ, распространяющие недостоверную информацию, зачастую спекулируют на этой теме, заведомо преувеличивая или намеренно искажая возможные негативные последствия воздействия радиации. Опровержение же такой информации может представлять значительную методическую сложность. Главная проблема заключается в том, что недостоверную информацию можно очень коротко сформулировать, но так же коротко опровергнуть её практически невозможно. Работа по развенчанию недостоверной информации – одна из самых сложных и ответственных задач, требующих как наличия навыков научной коммуникации, т.е. простого донесения до неподготовленной аудитории достаточно сложной информации, так и высокого уровня компетенции в области радиационной безопасности [51].

Наиболее эффективным средством, направленным на снижение негативного эффекта от воздействия недостоверной информации на психологическое состояние населения, является непрерывный мониторинг электронных СМИ и социальных сетей и оперативная реакция на информационные поводы [52].

Способы формирования мифологизированных представлений об ионизирующем излучении

Наиболее распространенный способ создания мифологизированных представлений об ионизирующем излучении подразумевает инкорпорирование в официально распространяемую информацию каких-либо «уточнений», имеющих под собой реальную основу, но преподносимых

в гиперболизированной форме [53]. Люди, являющиеся источниками распространения мифов, как правило, обладают более высоким уровнем знаний, чем население в среднем, и умело манипулируют общественным мнением и страхами, используя достаточно убедительные для неспециалиста формулировки.

Ниже приводятся примеры таких мифов, выявленные в ходе мониторинга социальных медиа при различных радиационных авариях. При этом сам по себе миф может (хотя и не обязательно) быть абсолютно или частично верным с научной точки зрения утверждением. Но обстоятельства и форма подачи такого утверждения могут быть направлены на формирование у неспециалиста ошибочно преувеличенного представления о характере и степени опасности. Примеры некоторых мифов и информации, на основе которой они сформировались, приведены в таблице 2.

Еще один механизм формирования мифов связан с неоднозначными высказываниями специалистов или журналистов либо с использованием профессиональной терминологии, в результате чего формируются смыслы, не заложенные авторами высказывания. Специалисты в области обеспечения радиационной безопасности, не имеющие практического опыта кризисной риск-коммуникации, иногда допускают ряд ошибок коммуникации, основанных на желании быть максимально точными в формулировках, но при этом приводящих к снижению эффективности коммуникации с точки зрения достижения ее целей.

К числу таких ошибок относятся:

- подсознательное желание успокоить население;
- попытки переубедить источник мифа;

Примеры мифов о радиации

Таблица 2

[Table 2]

Examples of myths about radiation]

Основа для мифа в официальной информации [The basis for the myth in the official information]	Порожденный на этой основе миф [The myth generated on that basis]
«Полученные населением дозы очень малы» [Doses received by the population are very low]	«Малые дозы радиации не менее опасны чем большие» [54, 55] [low doses of radiation are not less dangerous than the high]
«Радиационный фон в норме и повышался незначительно» [The radiation background is normal and increased slightly]	«Радиационный фон не показатель, бета-излучение гораздо опаснее» [background radiation is not an indicator, beta radiation is much more dangerous]
Линейная беспороговая гипотеза воздействия малых доз ионизирующего излучения на здоровье человека предполагает линейную зависимость вероятности развития онкологических заболеваний от дозы облучения [The linear non-threshold hypothesis of the impact of low doses of ionizing radiation on human health assumes a linear dependence of the probability of developing cancer on the radiation dose]	«Наибольшую опасность представляет не гамма-фон, а горячие частицы» [56] [The hot particles are much dangerous]
Линейная беспороговая гипотеза воздействия малых доз ионизирующего излучения на здоровье человека предполагает линейную зависимость вероятности развития наследственных эффектов от дозы облучения [The linear non-threshold hypothesis of the impact of low doses of ionizing radiation on human health assumes a linear dependence of the probability of developing hereditary effects on the radiation dose]	Радиация вызывает рак (мифом в данной ситуации является неизбежность возникновения рака) [57] [Radiation causes cancer (the myth in this situation is the inevitability of cancer)]
	Проживание на загрязненных территориях приводит к рождению детей с патологиями [57] [Living in contaminated areas leads to the birth of children with pathologies]

- стремление дискредитировать источник мифа;
- желание подробно объяснить ошибки в рассуждениях;
- невнимательное отношение к используемой лексике.

Некоторые примеры мифов, возникших из-за неосторожных высказываний или использования профессиональной терминологии специалистами, приводятся в таблице 3.

Проецирование художественных образов на реальную аварию

Мифологизированные представления о радиации возникают у значительной части населения под влиянием различных медиа-продуктов – компьютерных игр, художественных фильмов и сериалов [60], в которых тем или иным образом затрагивается радиационная тематика. Так, незадолго до аварии в районе п. Нёнокса (Архангельская область) был выпущен сериал «Чернобыль» (НВО, США, 2019), посвященный аварии на Чернобыльской АЭС.

Анализ интернет-общения жителей Северодвинска³ позволил выявить, что многие люди проецировали поведение органов власти, отраженное в данном художественном произведении, на реальную ситуацию, произошедшую с ними. Это стало одним из факторов, усиливших психоэмоциональную напряженность. Закрытый характер и противоречивость опубликованных сведений об аварии рядом с п. Нёнокса привели к усилению негативного отношения к случившемуся.

Заключение

Разнообразие всевозможных обстоятельств, влияющих на сценарий каждой конкретной радиационной аварии или инцидента, таково, что предусмотреть универсальные алгоритмы риск-коммуникации на случай любой кризисной ситуации крайне затруднительно. Поэтому для по-

вышения эффективности кризисной риск-коммуникации крайне важным является постоянное повышение уровня знаний, изучение опыта предыдущих кризисных ситуаций, улучшение навыков риск-коммуникации у лиц, которые привлекаются к информационной работе с населением.

Анализ влияния особенностей кризисных ситуаций на риск-коммуникацию позволил прийти к следующим выводам:

1. Кризисная риск-коммуникация является важной составляющей аварийного реагирования, влияющей как на психоэмоциональное состояние населения, так и на эффективность противоаварийных мероприятий, связанных с действиями или бездействием населения.

2. Развитие средств информационного взаимодействия и способов распространения и потребления информации требует пересмотра традиционных методов информационной работы с населением.

3. Любая кризисная ситуация обладает рядом особенностей, влияющих на возможность и оправданность применения конкретных методов риск-коммуникации.

4. Информация должна быть своевременной, объективной, непротиворечивой и понятной как для населения, так и для лиц, ответственных за принятие управленческих решений.

5. Противоречивые агрессивные сведения, получаемые населением из разных источников информации, могут вызвать недоверие к официальным источникам.

6. При непредставлении актуальной и объективной информации о кризисной ситуации доверие населения очень легко потерять и очень трудно восстановить.

7. Информация не должна представляться в виде кратких сообщений без объяснений, так как понимание информации её получателем является важным фактором, формирующим доверие к источнику информации и влияющим на формирование здоровьесберегающего поведения.

Примеры мифов, сформировавшихся на основе высказываний специалистов

Таблица 3

[Table 3]

Examples of myths formed on the basis of the expert' statements]

Основа для мифа [The basis for the myth]	Искажение смысла [Distortion of meanings]
Использование слова «Превышение» по отношению к ненормируемым величинам. [The use of the word «excess» in relation to non-normed values]	Населением термин «Превышение» воспринимается как уровни облучения, достаточно опасные для жизни и здоровья [58]. [The term «excess» is perceived by the population as radiation levels that are quite dangerous for life and health]
Формулировка названия стандартной отчетной формы Росгидромета содержала подзаголовок «Экстремально высокий уровень загрязнений» [59]. [The wording of the name of the standard reporting form of Roshydromet contained the subtitle «extremely high level of pollution»]	«Экстремально высокий уровень загрязнений» населением воспринимается как загрязнение с крайне высокой степенью опасности. В сочетании с количественными значениями, свидетельствующими о «превышении норм» в сотни раз, это породило волну слухов и неоправданных страхов у части населения. [«Extremely high level of pollution» is perceived by the population as pollution with an extremely high degree of danger. In combination with quantitative values indicating «exceeding the norms» by hundreds of times, this gave rise to a wave of rumors and unjustified fears among a part of the population.]

³ Были проанализированы комментарии под новостями о радиационном инциденте в первые сутки после аварии в социальных медиа, создана база данных из 155 комментариев.

Литература

1. Здоровье и окружающая среда: принципы коммуникации риска. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2013. 68 с.
2. Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М. Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности населения: основные понятия и определения // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 3. С. 83-91.
3. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / под ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. М.: Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 738 с.
4. International Atomic Energy Agency. IAEA report on enhancing transparency and communication effectiveness in the event of a nuclear or radiological emergency / Health Physics Society. Radiation and risk: expert perspectives. Health Physics Society. 52 p.
5. Sandman P.M. Tell it like it is // IAEA Bulletin. 2006. Vol. 47, № 2. P. 9-13.
6. Covello V.T. Best practices in public health risk and crisis communication // Journal of health communication. 2003. Vol. 8, № S1. P. 5-8.
7. Covello V.T. Risk communication, radiation, and radiological emergencies: strategies, tools, and techniques // Health physics. 2011. Vol. 101, № 5. P. 511-530.
8. Hyer R.N., Covello V.T. Breaking bad news in the high-concern, low trust setting: how to get your story heard // Health physics. 2017. Vol. 112, № 2. P. 111-115.
9. Lundgren R.E., McMakin A.H. Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks. John Wiley & Sons, 2018. 544 p.
10. Российский национальный доклад: 35 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986—2021 / Под общ. ред. Л.А. Большова; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. Москва: Академ-Принт, 2021. 104 с.
11. Онищенко Г.Г. Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические и медицинские последствия аварии // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 2. С. 10-19. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-2-10-19.
12. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2016. Т.1. 448 с.
13. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. Радиологические последствия и уроки радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 6-16. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-6-16
14. Чернобыль в трех измерениях. URL: <http://www.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl-3d/> (дата обращения: 30.04.2021).
15. Зыкова И.А. Мониторинг радиотревожности в комплексе гигиенических реабилитационных мер после чернобыльской аварии: дис... доктора медицинских наук: 14.00.07. Санкт-Петербург, 2001. 336 с.
16. Марченко Т.А., Тазетдинова М.Н. Социально-психологические проблемы граждан, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварии на ЧАЭС // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2016. Т. 25, № 4. С. 100-110. DOI: 10.21870/0131-3878-2016-25-4-100-110.
17. Ломкин А. Битва за Чернобыль. URL: <https://lenta.ru/articles/2006/04/17/smi/> (дата обращения: 30.04.2021).
18. Зануда А. Чернобыль и «гласность»: что писали советские газеты об аварии. URL: https://www.bbc.com/russian/international/2016/04/160426_chernobyl_soviet_papers (дата обращения: 30.04.2021).
19. Ковзик Г.О., Магсумов Т.А. Информационные сводки советских газет о первых днях Чернобыльской аварии // APRIORI. Серия: Гуманитарные науки. 2014. № 3. С. 17.
20. Сметанникова М. Чернобыль Мифы и факты. URL: <https://tass.ru/spec/chernobyl> (дата обращения: 30.04.2021).
21. От Совета Министров СССР // Известия, 1986. 29 апр. С.1
22. От Совета Министров СССР // Правда, 1986. 30 апр. С.2
23. ТАСС. К событиям на Чернобыльской АЭС // Правда, 1986. 7 мая С. 3
24. Информационное сообщение КГБ УССР «О взрыве на ЧАЭС» от 28.04.1986 г. URL: <https://tsdea.archives.gov.ua/exhibitions/chern/pripyat/docs/kgbussr/023.pdf> (дата обращения 30.04.2020).
25. Зыкова И.А., Зеленцова С.А. Неблагоприятные социально-психологические последствия Чернобыльской аварии // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, 2013. № 2. С. 258-268.
26. Румянцева Г.М., Чинкина О.В., Бежина Л.Н. Радиационные инциденты и психическое здоровье населения. М: ФГУ «ГНЦССП», 2009. 288 с.
27. Наследие Чернобыля: медицинские, экологические и социально-экономические последствия и рекомендации правительствам Беларуси, Российской Федерации и Украины. Чернобыльский форум: 2003-2005 // Радиация и риск. 2005. Специальный выпуск № 2. С. 5-49.
28. Мельниченко Т.Б., Рыбников В.Ю., Хавыло А.В. Социально-психологические проблемы жизнедеятельности и стрессовые реакции населения в отдаленном периоде после аварии на Чернобыльской АЭС. СПб: Политехника-Сервис, 2015. 148 с.
29. Мирный С. Чернобыль как инфотравма // Травма: пункты: сб. статей. М.: Новое литературное обозрение, 2009. С. 209-246.
30. Зыкова И.А., Архангельская Г.В. Радиотревожность населения и меры по ее снижению // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 4. С. 65-72.
31. Зеленцова С.А., Архангельская Г.В., Вишнякова Н.М., и др. Уровень знаний населения по основным вопросам радиационной безопасности // Радиационная гигиена. 2016. Т. 8, № 4. С. 52-61.
32. Rego F., Peralta L. Portuguese students' knowledge of radiation physics // Physics Education. 2006. Vol. 41, № 3. 259-262 p.
33. Sin H., Wong C., Huang B., et al. Assessing local patients' knowledge and awareness of radiation dose and risks associated with medical imaging: a questionnaire study // Journal of medical imaging and radiation oncology. 2013. Vol. 57, № 1. P. 38-44.
34. Breakwell G.M. Risk communication: factors affecting impact // British medical bulletin. 2000. Vol. 56, № 1. P. 110-120.
35. Stern P.C., Fineberg H.V. Understanding risk. Rarebooksclub Com, 2012. 264 p.
36. Edwards A., Elwyn G. Understanding risk and lessons for clinical risk communication about treatment preferences // BMJ Quality & Safety. 2001. Vol. 10. №. suppl 1. P. i9-i13.
37. Renn O., Levine D. Credibility and trust in risk communication // Communicating risks to the public. Springer, Dordrecht, 1991. P. 175-217.
38. Siegrist M. Trust and Risk Perception: A Critical Review of the Literature // Risk Analysis. 2021. Vol. 41, № 3. P. 480-490.
39. Siegrist M., Cvetkovich G. Perception of hazards: The role of social trust and knowledge // Risk analysis. 2000. Vol. 20, № 5. P. 713-720.
40. Рехтина Л.С., Соколов Н.В., Библин А.М., и др. Проблемы аналитического обеспечения коммуникации рисков: обоснование подходов к разработке исследовательских баз данных по вопросам радиационной безопасности и со-

- циальных рисков // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 4. С. 44-52. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-44-52.
41. Библин А.М., Ахматдинов Р.Р., Варфоломеева К.В., и др. Проблемы риск-коммуникации по вопросам радиационной безопасности: анализ материалов в сети Интернет после радиационной аварии на Электростальском заводе тяжелого машиностроения // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, №. 1. С. 43-52.
 42. Романович И.К., Брук Г.Я., Громов А.В., Рамзаев В.П. Радиационная обстановка на Электростальском заводе тяжелого машиностроения и прилегающей территории г. Электросталь, связанная с расплавлением радионуклидного источника // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Сборник тезисов конференции, посвященной 85-летию со дня рождения П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, 01-03 октября 2014 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, 2014. С. 165-167.
 43. Shershakov V.M., Borodin R.V., Tsaturov Y.S. Assessment of possible location Ru-106 source in Russia in September–October 2017 // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. Vol. 44, №. 3. P. 196-202.
 44. Haywood S., Majerus P. Achieving cross-border consistency during a nuclear emergency // Environment international. 2014. Vol. 72. P. 26-29.
 45. Архангельская Г.В., Зеленцова С.А., Зыкова И.А. Оценка последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» населением Дальнего Востока // Радиационная гигиена. 2015. Т. 5, №. 4. С. 12-20.
 46. Mieltski J.W., Povinec P.P. Environmental radioactivity aspects of recent nuclear accidents associated with undeclared nuclear activities and suggestion for new monitoring strategies // Journal of environmental radioactivity. 2020. Vol. 214-215. P. 106151.
 47. Радиационная обстановка на территории РФ и сопредельных государств в 2019 году. Ежегодник / под ред. Шершаков В.М., Булгаков В.Г., Крышев И.И. Обнинск, 2020. 340 с.
 48. Trichopoulos D., Zavitsanos X., Koutis C., et al. The victims of Chernobyl in Greece: induced abortions after the accident // British medical journal (Clinical research ed.). 1987. Vol. 295, №. 6606. P. 1100.
 49. Renn O. Public responses to the Chernobyl accident // Journal of Environmental Psychology. 1990. Vol. 10, №. 2. P. 151-167.
 50. Lei C., Sun Q., Cheng X., et al. Survey on risk perception of radiation following an incident involving a stuck ⁶⁰Co source in Henan province, China // Radiation protection dosimetry. 2012. Vol. 151, №. 4. P. 682-688.
 51. Sawano T., Ozaki A., Hori A., et al. Combating 'fake news' and social stigma after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant incident – the importance of accurate longitudinal clinical data // QJM: An International Journal of Medicine. 2019. Vol. 112, №. 7. P. 479-481.
 52. Veil S.R., Buehner T., Palenchar M.J. A work in process literature review: Incorporating social media in risk and crisis communication // Journal of contingencies and crisis management. 2011. Vol. 19, №. 2. P. 110-122.
 53. Котеров А.Н. Малые дозы радиации: факты и мифы. Книга первая: Основные понятия и нестабильность генома. М.: Изд-во «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2010. 283 с.
 54. Надеждина М. Феномен малых доз. URL: <https://www.quarta-rad.ru/useful/ekologia-zdorovie/fenomen-malyh-doz/> (дата обращения: 08.02.2021).
 55. Яблоков А.В. Миф о безопасности малых доз радиации: Атомная мифология. М.: Центр экологической политики России, ООО «Проект-Ф», 2002. 145 с.
 56. Гусев А. Чем опасны «горячие» частицы? И снова радиация... URL: <https://shkolazhizni.ru/law/articles/39074/> (дата обращения: 08.02.2021).
 57. Calabrese E.J. On the origins of the linear no-threshold (LNT) dogma by means of untruths, artful dodges and blind faith // Environmental research. 2015. Vol. 142. P. 432-442.
 58. Лазарева О. В аэропорту Шереметьево обнаружена угроза радиации. URL: <https://bloknot.ru/chp/v-ae-roportu-sheremet-evo-obnaruzhena-ugroza-radiatsii-723865.html> (дата обращения: 08.02.2021).
 59. Уфимцева К. Росгидромет подтвердил «экстремально высокое» радиационное загрязнение на Южном Урале. URL: https://www.znak.com/2017-11-20/rosgidromet_podtverdil_ekstremalno_vysokoe_radiacionnoe_zagryaznenie_na_yuzhnom_urale (дата обращения: 08.02.2021).
 60. Haney J.J., Havice C., Mitchell J.T. Science or Fiction: The Persistence of Disaster Myths in Hollywood Films // International Journal of Mass Emergencies & Disasters. 2019. Vol. 37, №. 3. P. 286-305.

Поступила: 19.04.2021 г.

Библин Артем Михайлович – руководитель информационно-аналитического центра, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.biblin@niirg.ru

Давыдов Артем Анатольевич – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Вишнякова Надежда Михайловна – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Ахматдинов Руслан Расимович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Репин Леонид Викторович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Библин А.М., Давыдов А.А., Вишнякова Н.М., Ахматдинов Р.Р., Репин Л.В. Анализ влияния особенностей радиационных аварий на кризисную риск-коммуникацию // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 27–38. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-27-38

Analysis of the impact of features of radiation accidents on crisis risk communication

Artem M. Biblin, Artem A. Davydov, Nadezhda M. Vishnyakova, Ruslan R. Akhmatdinov, Leonid V. Repin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

In the event of radiation accidents and incidents related to a possible threat to public health, one of the tools for forming health-saving behavior of the population, ensuring the social acceptability of protective measures and reducing social tension is crisis communication. Nuclear and radiation emergencies associated with the potential for radioactive contamination of large areas or the impact on the population can become the basis for the emergence of resonant information events. Properly organized crisis communication with the population in such situations is one of the necessary conditions for the effectiveness of emergency response. The article analyzes the impact on crisis risk communication of some features of nuclear and radiation events that have occurred in recent years. These events have had a significant impact on the possibility or impossibility of following the general principles of crisis communication, and provides examples of recommendations for adjusting information work if it is impossible to strictly follow the general principles of crisis communication in real circumstances. The study made it possible to identify the following features of the development of specific crisis situations that influenced the course of crisis communication and created a number of difficulties: 1) the latent nature of the early phase of the accident; 2) absence or deliberate concealment of information about a radiation accident; 3) the transboundary nature of the accident; 4) hidden (secret) nature of information about the accident; 5) an increase in the level of radiation anxiety among the population of the territories not affected by the accident; 6) the rapid formation and spread of myths; 7) projecting artistic images on a real accident. The analysis of the influence of the features of radiation accidents and incidents on the crisis communication allowed us to come to the following conclusions: 1) crisis communication is an important component of emergency response, affecting both the psychoemotional state of the population and the effectiveness of emergency measures related to the actions or inaction of the population; 2) the development of means of information interaction and methods of dissemination and consumption of information requires a revision of traditional methods of information work with the population; 3) the information should be timely, objective, consistent and understandable both for the public and for non-specialists in the field of radiation hygiene responsible for making management decisions; 4) information should not be presented in the form of short messages without explanations; 5) contradictory aggressive information received by the population from different sources may cause distrust of official sources of information; 6) if you do not provide up-to-date and objective information about the accident, the public's trust is very easy to lose and very difficult to restore.

Key words: Chernobyl NPP accident, radiation accident, risk communication, population, risk perception, crisis communication, radiation anxiety

References

1. Health and the environment: principles of risk communication. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2013. 68 p. (in Russian)
2. Repin LV, Biblin AM, Vishnyakova NM. Problems of risk communication related to the provision of the radiation safety. Basic concepts and definitions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(3): 83-91. (In Russian)
3. Analysis of health risk in the strategy of state socio-economic development: monograph. Ed. by GG Onishchenko, NV Zaitseva. Moscow: Perm: Publishing house of Perm National Research Polytechnic University; 2014. 738 p. (In Russian)
4. International Atomic Energy Agency. IAEA report on enhancing transparency and communication effectiveness in the event of a nuclear or radiological emergency. Health Physics Society. Radiation and risk: expert perspectives. Health Physics Society. 52 p.
5. Sandman PM. Tell it like it is. *IAEA Bulletin*. 2006;47(2): 9-13.
6. Covello VT. Best practices in public health risk and crisis communication // *Journal of health communication*. 2003;8(S1): 5-8.
7. Covello VT. Risk communication, radiation, and radiological emergencies: strategies, tools, and techniques. *Health physics*. 2011;101(5): 511-530.
8. Hyer RN, Covello VT. Breaking bad news in the high-concern, low trust setting: how to get your story heard. *Health physics*. 2017;112(2): 111-115.
9. Lundgren RE, McMakin AH. Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks. John Wiley & Sons; 2018. 544 p.
10. Bolshov LA. Russian national report. 30 Years of the Chernobyl Accident: Results and Prospects of Overcoming its Consequences in Russia 1986-2016. Moscow: Nuclear safety Institute of the Russian Academy of sciences; 2021. 104 p. (In Russian)

Artem M. Biblin

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.biblin@niirg.ru

11. Onischenko GG. The Chernobyl – Thirty Years After The Post – Accidental Radiological – Hygienic and Medical Consequences. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(2): 10-19. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-2-10-19>
12. Radiological and Hygienic Issues of the Mitigation of the Chernobyl NPP Accident Consequences / Ed. by GG Onischenko, Academician of the Russian Academy of Sciences and AYU Popova, Professor. St. Petersburg: RIRH after prof. P.V. Ramzaev; 2016, Vol. 1. 448 p. (In Russian)
13. Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK. Radiological consequences and lessons of the Chernobyl NPP and «Fukushima-1» NPP radiation accidents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 6-16. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-6-16>
14. Linge II. Chernobyl in three dimensions. Available from: <http://www.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl-3d/> (Accessed: 30.04.2021). (In Russian)
15. Zykova IA. Radioanxiety monitoring in the complex of hygienic rehabilitation measures after the Chernobyl accident: – Saint-Petersburg; 2001. 336 p. (In Russian)
16. Marchenko TA, Tazetdinova MN. Social-psychological problems of citizens exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident. *Radiatsia i risk = Radiation and Risk*. 2016;25(4): 100-110. (In Russian) DOI 10.21870/0131-3878-2016-25-4-100-110.
17. Lomkin A. battle for Chernobyl. Available from: <https://lenta.ru/articles/2006/04/17/smi/> (Accessed: 30.04.2021). (In Russian)
18. Zanuda A. Chernobyl and Glasnost: What Soviet newspapers wrote about the accident. Available from: https://www.bbc.com/russian/international/2016/04/160426_chernobyl_soviet_papers (Accessed: 30.04.2021). (In Russian)
19. Kovzik GO, Magsumov TA. News reports from Soviet newspapers about the first days of the Chernobyl accident. *APRIORI. Seriya: Gumanitarnye nauki = APRIORI. Series: Humanities*. 2014;(3). – P. 17. (In Russian)
20. Smetannikova M. Chernobyl myths and facts. Available from: <https://tass.ru/spec/chernobyl> (Accessed: 30.04.2021). (In Russian)
21. From the USSR Council of Ministers. Izvestiya newspaper; 1986. 29 apr. P.1 (In Russian)
22. From the USSR Council of Ministers. Pravda newspaper; 1986. 30 apr. P. 2 (In Russian)
23. TASS. To the events at the Chernobyl nuclear power plant. Pravda newspaper; 1986. 7 may. P. 3 (In Russian)
24. Information report of the KGB of the Ukrainian SSR “On the explosion at the Chernobyl NPP” of 28.04.1986. Available from: <https://tsdea.archives.gov.ua/exhibitions/chern/pripyat/docs/kgbussr/023.pdf>, (Accessed 30.04.2020). (In Russian)
25. Zykova IA, Zelentsova SA. Adverse socio-psychological consequences of the Chernobyl accident. *Ucheny'e zapiski Sankt-Peterburgskogo imeni V. B. Bobkova filiala Rossijskoj tamozhennoj akademii = Scientific Notes of V. B. Bobkov St. Petersburg Branch of the Russian Customs Academy*. 2013;(2): 258-268. (In Russian)
26. Rumyantseva GM, Chinkina OV, Bezhina LN. Radiation incidents and public mental health Moscow: FGU «GNCzSSP»; 2009. 288 p. (In Russian)
27. Chernobyl legacy: medical, environmental and socio-economic consequences and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. Chernobyl Forum: 2003-2005. *Radiatsia i risk = Radiation and Risk*. 2005;Special Issue(2): 5-49. (In Russian)
28. Melnitskaya TB, Rybnikov VY, Khavilo AV. Socio-psychological problems of life activity and stress reactions of population in the remote period after the Chernobyl accident. St.-Petersburg: Polytehnika-Service; 2015. 148 p. (In Russian)
29. Mirny S. Chernobyl as infotrauma. Trauma: points: collection of articles. Moscow: New Literary Review; 2009. 209-246 p. (In Russian)
30. Zykova IA, Arkhangelskaya GV. Radioanxiety of population and measures to reduce it. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008;1(4): 65-72. (In Russian)
31. Zelentsova SA, Arkhangelskaya GV, Vishnyakova NM, Zykova IA, Repin VS. Level of knowledge among the population of radiation safety basic issues. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(4): 52-61. (In Russian)
32. Rego F, Peralta L. Portuguese students' knowledge of radiation physics. *Physics Education*. 2006;41(3): 259-262.
33. Sin H, Wong C, Huang B, et al. Assessing local patients' knowledge and awareness of radiation dose and risks associated with medical imaging: a questionnaire study. *Journal of medical imaging and radiation oncology*. 2013;57(1): 38-44.
34. Breakwell GM. Risk communication: factors affecting impact. *British medical bulletin*. 2000;56(1): 110-120.
35. Stern PC, Fineberg HV. Understanding risk. Rarebooksclub Com; 2012. 264 p.
36. Edwards A, Elwyn G. Understanding risk and lessons for clinical risk communication about treatment preferences. *BMJ Quality & Safety*. 2001;10(suppl 1.): i9-i13 p.
37. Renn O, Levine D. Credibility and trust in risk communication. Communicating risks to the public. Springer, Dordrecht; 1991. P. 175-217.
38. Siegrist M. Trust and Risk Perception: A Critical Review of the Literature. *Risk Analysis*. 2021;41(3): 480-490.
39. Siegrist M, Cvetkovich G. Perception of hazards: The role of social trust and knowledge. *Risk analysis*. 2000;20(5): 713-720.
40. Rekhtina LS, Sokolov NV, Biblin AM, Repin LV, Akhmatdinov RR. Analytical issues of risk communication. Rationale for approaches to developing research databases on radiation safety and social risks. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(4): 44-52. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-44-52>
41. Biblin AM, Akhmatdinov RR, Varfolomeeva KV, Repin LV. Problems of risk communication on radiation safety. Analysis of materials on the internet after the 2013 radiation accident at the Electrostal heavy engineering works. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(1): 43-52. (In Russian)
42. Romanovich IK, Bruk GYa, Gromov AV, Ramzaev VP. The radiation situation at The Electrostal Heavy Engineering Works and the adjacent territory of Elektrostal city, associated with the melting of a radionuclide source. Proceedings of the Conference «Actual problems of radiation hygiene» dedicated to the 85th anniversary of P.V. Ramzaev 01-03 October 2014, St-Petersburg, Russia. St-Petersburg: NIIRG; 2014. P. 165-167. (In Russian)
43. Shershakov VM, Borodin RV, Tsaturov YS. Assessment of possible location Ru-106 source in Russia in September–October 2017. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2019;44(3): 196-202.
44. Haywood S, Majerus P. Achieving cross-border consistency during a nuclear emergency. *Environment international*. 2014;72: 26-29.
45. Arkhangelskaya GV, Zelentsova SA, Zykova IA. Assessment of the Fukushima nuclear power plant accident consequences by the population in the Far East. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2012;5(4): 12-20. (In Russian)
46. Mieltski JW, Povinec PP. Environmental radioactivity aspects of recent nuclear accidents associated with undeclared nuclear activities and suggestion for new monitoring strategies. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020;Apr: 214-215.
47. Shershakov VM, Bulgakov VG, Kryshev II. Radiation Situation on the Territory of the Russian Federation and Neighboring States in 2019. Yearbook. Obninsk; 2020. 340 p. (In Russian)

48. Trichopoulos D, Zavitsanos X, Koutis C, et al. The victims of Chernobyl in Greece: induced abortions after the accident. *British medical journal (Clinical research ed.)*. 1987;295(6606): 1100.
49. Renn O. Public responses to the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Psychology*. 1990;10(2): 151-167.
50. Lei C, Sun Q, Cheng X, et al. Survey on risk perception of radiation following an incident involving a stuck ^{60}Co source in Henan province, China. *Radiation protection dosimetry*. 2012;151(4): 682-688.
51. Sawano T, Ozaki A, Hori A, et al. Combating 'fake news' and social stigma after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant incident – the importance of accurate longitudinal clinical data. *QJM: An International Journal of Medicine*. 2019;112(7): 479-481.
52. Veil SR, Buehner T, Palenchar MJ. A work-in-process literature review: Incorporating social media in risk and crisis communication. *Journal of contingencies and crisis management*. 2011;19(2): 110-122.
53. Koterov AN. Low Doses of Radiation: Facts and Myths. Book One: Basic Concepts and Genome Instability. Moscow: AI Burnazyan Federal Medical and Biological Center Publisher, FMBA of Russia; 2010. 283 p. (In Russian)
54. Nadezhdina M. The phenomenon of small doses. Available from: <https://www.quarta-rad.ru/useful/ekologia-zdorovie/fenomen-malyh-doz/> (Accessed 08.02.2021). (In Russian)
55. Yablokov AV. The Myth of Low-Dose Radiation Safety: Atomic Mythology. Moscow: Center for Ecological Policy of Russia, Proekt-F; 2002. 145 p. (In Russian)
56. Gusev A. How dangerous are "hot" particles? And radiation again... Available from: <https://shkolazhizni.ru/law/articles/39074/> (Accessed 08.02.2021). (In Russian)
57. Calabrese EJ. On the origins of the linear no-threshold (LNT) dogma by means of untruths, artful dodges and blind faith. *Environmental research*. 2015;142: 432-442.
58. Lazareva O. Radiation threat detected at Sheremetyevo airport. Available from: <https://bloknot.ru/chp/v-ae-roportu-sheremet-evo-obnaruzhena-ugroza-radiatsii-723865.html> (Accessed 08.02.2021). (In Russian)
59. Ufimtseva K. Rosgidromet confirmed "extremely high" radiation pollution in the South Urals. Available from: https://www.znak.com/2017-11-20/rosgidromet_podtverdil_ekstremalno_vysokoe_radiacionnoe_zagryaznenie_na_yuzhnom_urale (Accessed 08.02.2021). (In Russian)
60. Haney JJ, Havice C, Mitchell JT. Science or Fiction: The Persistence of Disaster Myths in Hollywood Films. *International Journal of Mass Emergencies & Disasters*. 2019;37(3): 286-305.

Received: April 19, 2021

For correspondence: Artem M. Biblin – Head, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint Petersburg, Russia (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.biblin@niirg.ru)

Artem A. Davydov – Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Nadezhda M. Vishnyakova – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being, Saint Petersburg, Russia

Ruslan R. Akhmatdinov – Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint Petersburg, Russia

Leonid V. Repin – Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint Petersburg, Russia

For citation: Biblin A.M., Davydov A.A., Vishnyakova N.M., Akhmatdinov R.R., Repin L.V. Analysis of features of radiation accidents on crisis risk communication. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 27-38. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-27-38

Критический анализ и предложения по совершенствованию существующей системы радиационного контроля в рентгеновских кабинетах

В.Ю. Голиков¹, А.В. Водоватов^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

В статье продемонстрированы недостатки существующей методики радиационного контроля в рентгеновских кабинетах и интерпретации получаемых с ее помощью результатов измерений для оценки соответствия условий труда различных групп облучаемых лиц требованиям радиационной безопасности. Предложена новая методика интерпретации результатов измерений, учитывающая относительное время пребывания отдельных категорий облучаемых лиц в соответствующих помещениях во время работы рентгеновского аппарата, а также наличие у работника в процедурной комнате средств индивидуальной защиты. Интерпретация результатов измерений в процедурной комнате, согласно предложенному подходу, продемонстрировала соответствие условий труда в отношении требований радиационной безопасности при условии использования работником средств индивидуальной защиты. Согласно предложенному подходу к интерпретации результатов измерений в смежных помещениях, возможно как ослабление, так и ужесточение требований к элементам стационарной защиты. Продемонстрирован некорректный алгоритм расчета защиты при размещении нескольких рентгеновских аппаратов в одном кабинете в рамках действующего подхода.

Ключевые слова: радиационная защита, радиационный контроль, медицинский рентгеновский кабинет, персонал, AMBIENTНЫЙ эквивалент дозы.

Введение

Существующая методика проведения радиационного контроля (РК) в рентгеновских кабинетах и интерпретация получаемых с ее помощью результатов измерений для оценки соответствия условий труда различных групп облучаемых лиц требованиям радиационной безопасности (РБ) была разработана и утверждена более 15 лет назад^{1,2}. К сожалению, часть ее положений, на наш взгляд, являются необоснованными, а часть к настоящему времени устарели и вызывают множество нареканий на практике.

Существенным недостатком действующей системы РК является некорректный учет категории облучаемых лиц и доли времени, проводимого ими в различных помещениях, при интерпретации результатов измерений мощности дозы рентгеновского излучения для облучаемых лиц, отличных от категории «персонал группы А», при оценке адекватности физической защиты помещения.

На этапе проектирования радиационной защиты для каждого помещения определяются категории лиц, которые могут в нем находиться (персонал группы А, Б, население) и максимальная доля рабочего времени, которое данные лица могут проводить в рассматриваемом поме-

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 18.02.2003 г. № 8 «О введении в действие СанПиН 2.6.1.1192-03» (СанПиН 2.6.1.1192-03. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских аппаратов и проведению рентгенологических исследований). (Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.03.2003 г. № 4282). (Decree of the Chief state sanitary doctor of Russia #8, 18.02.2003 "On the establishment of the SanPiN 2.6.1.1192-03" [SanPiN 2.6.1.1192-03. Hygienic requirements on the construction and use of the X-ray units and radiography examinations). Registered in the Ministry of Justice of Russia № 4282, 14.03.2003]

² МУ 2.6.1.1982-05. Проведение радиационного контроля в рентгеновских кабинетах. Методические указания (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 25.04.2005 г.). [Methodical guidelines 2.6.1.1982-05. Radiation control in the X-ray units. Approved by the Chief state sanitary doctor of Russia 25.04.2005]

Голиков Владислав Юрьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sg235@rambler.ru

щении. При этом учитывается возможность работы рентгеновского аппарата в одну или две смены. Результатом является получение для каждого из рассматриваемых помещений проектных значений мощностей доз, т.е. максимальных значений усредненной за рабочее время мощности дозы (с учетом коэффициента запаса), которые не будут превышать установленные допустимые значения для соответствующих категорий облучаемых лиц.

Задачей радиационного контроля является получение усредненной за рабочее время мощности дозы в контролируемых помещениях для определения соответствия их установленным допустимым значениям для соответствующих категорий облучаемых лиц и помещений. Произведение измеренной мощности дозы на значение стандартной недельной рабочей нагрузки рентгеновского аппарата, деленное на анодный ток, при котором проводились измерения, является дозой, накопленной в точке измерения за неделю. Далее определяется аналогичная величина за год, а средняя за рабочее время мощность дозы получается делением этой величины на полное рабочее время в течение года, проводимое представителями соответствующей категории облучаемых лиц (персонал группы А, Б, население) в помещении соответствующей категории (процедурная, коридор, туалет и т.п.). Это время равно произведению $t_c \cdot n \cdot T$ (см. табл. 4.2, СанПиН 2.6.1.1192-03¹). Однако как в действующем СанПиН 2.6.1.1192-03, так и в действующих МУ 2.6.1.1982-05² значения параметров $t_c \cdot n$ и T , соответствующие категории облучаемых лиц персонала группы А ($t_c = 1500$ ч/год, $n = 1$, $T = 1$), применяются для всех категорий облучаемых лиц, что неверно.

Кроме того, методика РК была разработана применительно к измерениям мощности поглощенной дозы (кермы) в воздухе, тогда как в настоящее время подавляющее большинство приборов разработаны для измерений амбиентного эквивалента дозы. Не отражен в существующей методике РК также и тот факт, что в процедурной (вблизи источника излучения) персонал использует средства индивидуальной защиты (защитные фартуки, передники и пр.), тем самым существенно уменьшая облучение части тела.

Цель исследования – критический анализ существующей методики радиационного контроля полей рентгеновского излучения при его медицинском использовании в части, касающейся интерпретации результатов измерений, с целью оценки адекватности радиационной защиты персонала и разработка предложений по ее изменению.

Интерпретация результатов измерений для оценки адекватности радиационной защиты

Согласно современным принципам радиационной защиты, регламентируемые пределы доз облучения представителей различных групп облучаемых лиц (персонал, население) выражаются в терминах эквивалентных доз в органах и эффективной дозы (биофизические величины). Эти величины не являются измеримыми, и их оценка на практике проводится на основе физических или операционных, т.е. измеряемых величин [1].

Согласно ОСПОРБ 99/2010 (п. 3.3.4), «проектирование защиты от внешнего ионизирующего излучения должно выполняться с учетом назначения помещений,

категорий облучаемых лиц и длительности облучения. При расчете защиты с коэффициентом запаса, равным 2, проектная мощность эквивалентной дозы излучения H на поверхности защиты определяется по формуле:

$$H = \frac{500 \cdot D}{T}, \text{ мЗв/ч}$$

где: D – предел дозы для персонала или населения, мЗв/год;

T – продолжительность облучения, час/год».

То есть, согласно ОСПОРБ 99/2010, предлагается регламентировать эквивалентную дозу. К сожалению, в этом определении имеется существенная неточность. Понятие «Эквивалентная доза» относится исключительно к органу или ткани. В основе определения эквивалентной дозы облучения органа или ткани лежит величина средней поглощенной дозы в этом органе (ткани) и взвешивающего коэффициента излучения W_R , который характеризует источник излучения. Как в международных, так и в отечественных нормативах в области радиационной защиты есть определение термина «Эквивалентная доза облучения органа или ткани» и отсутствует определение термина «Эквивалентная доза» [2].

В действующем СанПиН 2.6.1.1192-03 регламентируется не биофизическая величина, а допустимая мощность дозы (ДМД) рентгеновского излучения за стационарной защитой в помещениях различного назначения. ДМД выражается в терминах физической измеряемой величины – мощности поглощенной дозы в воздухе (в области энергий рентгеновского излучения практически численно равной значению кермы в воздухе). При этом ДМД рассчитывается, исходя из значений пределов, установленных для эффективной дозы (биофизической величины), с использованием коэффициентов перехода от эффективной дозы к воздушной керме, сложным образом зависящих от энергии излучения и геометрии облучения человека:

$$\text{ДМД} = 10^3 \cdot \frac{\lambda \cdot ПД}{t_c \cdot n \cdot T}, \text{ мГр/ч}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент перехода от эффективной дозы к воздушной керме, Гр/Зв.

Для расчета радиационной защиты с учетом двукратного запаса по ослаблению излучения значение λ в СанПиН 2.6.1.1192-03 принимается равным 1. Из этой не очень корректной формулировки следует, что само значение коэффициента перехода от эффективной дозы к воздушной керме было принято равным 2 Гр/Зв, что соответствует значению более употребляемого на практике коэффициента перехода от воздушной кермы к эффективной дозе $C^E = E/K_a = 0,5$ Зв/Гр.

Рассмотрим, как меняются значения коэффициента перехода C^E в области энергий рентгеновского излучения, используемого в медицине, т.е. в области энергий фотонов 20–140 кэВ, или напряжений на аноде трубки рентгеновского аппарата 50–140 кВ. Как указывалось выше, в действующем СанПин 2.6.1.1192-03 без каких либо объяснений C^E полагается равным 0,5 Зв/Гр. На самом деле все обстоит несколько сложнее. Коэффициент перехода C^E зависит от энергии фотонного излучения и геометрии облучения человека в поле этого излучения. На рисунке 1 представлены примеры энергетической зависимости C^E для двух наиболее вероятных геоме-

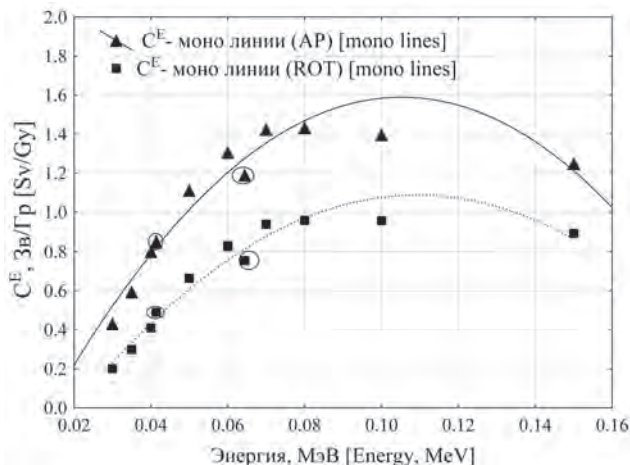


Рис. 1. Зависимость коэффициента перехода C^E от кермы в воздухе к эффективной дозе от энергии фотонного излучения для геометрии передне-заднего (AP) и ротационного (ROT) облучения человека

[Fig. 1. Relationship between the conversion coefficient from kerma in air to the effective dose C^E and the photon energy for the anterior – posterior (AP) and rotational geometry (ROT) of human exposure]

трий облучения медицинского персонала на рабочих местах, передне-заднего (AP) и ротационного (ROT). Эти зависимости были построены на основании данных Публикации 116 МКРЗ [3] для моноэнергетического фотонного излучения. Однако в реальности на рабочих местах медицинского персонала мы имеем дело со спектрами излучения. Поэтому нами на основании данных о реальных спектрах рентгеновского излучения [4] были рассчитаны значения C^E для двух спектров: 70 кВ, 4 мм Al (суммарный фильтр), $E_{cp} = 41,4$ кэВ (средняя энергия спектра) и 140 кВ, 4,5 мм Al, $E_{cp} = 62,7$ кэВ. Они также представлены на рисунке 1 (обведенные значки) и соответствуют значениям средней энергии спектров излучения. Непосредственно видно, что средняя энергия спектра вполне адекватно характеризует значение коэффициента перехода C^E .

Если рассчитать средние значения C^E в диапазоне напряжений на трубке рентгеновского аппарата от 50 до 140 кВ, то для передне-задней геометрии облучения это будет 1,1 Зв/Гр, а для ротационной – 0,7 Зв/Гр. Исходя из консервативных соображений, разумно использовать для персонала геометрию облучения AP и значение $C^E = 1$ Зв/Гр. То есть, если использовать в действующем СанПин 2.6.1.1192-03 правильное среднее значение коэффициента перехода от эффективной дозы к воздушной керме, равное 1 Гр/Зв, а не 2 Гр/Зв, как сейчас, то с учетом коэффициента запаса 2 значения ДМД уменьшились бы в два раза, т.е. требования к толщине защитных барьеров ужесточились бы. Поэтому для сохранения преемственности процедуры расчетов, с одной стороны, и решения этой проблемы – с другой, предлагается при проектировании защиты от рентгеновского излучения, используемого в медицинских целях, не вводить коэффициент запаса 2. Дело в том, что в этом случае использовать его представляется излишним [5, 6] по следующим причинам. При расчете кратности ослабления защиты в этом случае не учитывается ряд обстоятельств, значительно уменьшающих на

практике мощность дозы рентгеновского излучения еще до защиты, а именно – поглощение излучения в теле пациента, рассеивающей решетке, приемнике изображения и других конструкциях. Так, согласно данным работы [7], поглощение рентгеновского излучения только в рассеивающей решетке и кассете приемника изображения для спектров с напряжением на трубке в диапазоне от 50 кВ до 140 кВ уменьшает его интенсивность в 4–40 раз. Кроме того, для расчета толщины защиты предписывается использовать значения напряжения на аноде трубки и рабочие нагрузки рентгеновских аппаратов (W), близкие к максимальным, что существенно увеличивает ее толщину. Так, например, в работе [8] было показано, что на практике значения W для рентгеновских аппаратов общего назначения как минимум в два раза ниже, а использование реального распределения значений напряжения на аноде трубки вместо предписываемого в действующем СанПин 2.6.1.1192-03 значения 100 кВ позволяет уменьшить толщину стационарной защиты в 2 раза.

Учитывая вышесказанное, предлагается следующая формулировка п. 4.1.4. СанПин 2.6.1.1192-03: «Значения допустимой мощности эффективной дозы ДМЭД (мкЗв/ч) в помещениях и на территориях различного назначения рассчитываются, исходя из основных пределов годовой эффективной дозы для соответствующих категорий облучаемых лиц ПД (мЗв/год) и возможной продолжительности их облучения по формуле:

$$ДМЭД = 10^3 \cdot \frac{ПД}{t_c \cdot n \cdot T}, \text{ мкЗв/ч}, \quad (2)$$

где 10^3 – коэффициент перевода мГр в мкГр;

t_c – стандартизованное время односменной работы персонала группы А, $t_c = 1500$ ч/год (30-часовая рабочая неделя);

n – коэффициент сменности, учитывающий возможность двухсменной работы рентгеновского аппарата и связанную с ней продолжительность облучения персонала группы Б, пациентов и населения;

T – коэффициент занятости помещения, учитывающий максимально возможную долю рабочего времени нахождения людей в зоне облучения.

В этой формулировке фигурируют биофизические величины, в которых выражены основные дозовые пределы.

Далее нужно рассчитать необходимую толщину защиты. Расчет стационарной защиты рентгеновского кабинета при проектировании основан на определении требуемой кратности ослабления K физической величины, – мощности поглощенной дозы в воздухе $\dot{D}(0)$ рентгеновского излучения в данной точке в отсутствие защиты до такого значения проектной мощности дозы $\dot{D}_{np}$ за защитой, которая обеспечивает неперевышение ДМЭД, – биофизической (неизмеряемой) величины:

$$K = \frac{\dot{D}(0)}{\dot{D}_{np}} \sim 10^3 \cdot \frac{C^E \cdot R \cdot W \cdot N}{ДМЭД \cdot 30 \cdot r^2}, \text{ отн. ед.}, \quad (3)$$

где: $C^E = 1$ Зв/Гр – коэффициент перехода от кермы (поглощенной дозы) в воздухе к эффективной дозе;

R – радиационный выход рентгеновского аппарата, мГр $\times$ м²/(мА $\times$ мин);

W – номинальная рабочая нагрузка рентгеновского аппарата, (мА·мин)/нед;

N – коэффициент направленности излучения, отн. ед.;

ДМЭД – допустимая мощность эффективной дозы, мкЗв/ч;

30 – значение нормированного времени работы в неделю персонала группы А при односменной работе (30-часовая рабочая неделя), ч/нед;

r – расстояние от фокуса рентгеновской трубки до точки расчета, м;

10^3 – множитель для перевода мГр в мкГр,

Произведение $C^E \cdot \frac{R \cdot W \cdot N}{30 \cdot r^2}$ определяет значение средней за рабочее время мощности эффективной дозы с учетом номинальной рабочей нагрузки рентгеновского аппарата в отсутствие защиты, а ДМЭД – допустимую среднюю за рабочее время мощность эффективной дозы за защитой.

Перейдем к рассмотрению вопроса интерпретации результатов измерений, проводимых в рамках РК, т.е. выполняемых на контролируемом объекте с целью определения степени соблюдения принципов РБ требованиям нормативов. Необходимо на основании результатов мгновенного измерения мощности дозы рассчитать приведенное к стандартной нагрузке аппарата среднее значение мощности дозы для различных категорий облучаемых лиц с учетом параметров, определяющих время их пребывания в помещениях различного назначения для сравнения со значениями ДМЭД.

Так как в настоящее время подавляющее большинство приборов производят измерения мощности амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)_{изм}$, то ниже приводимые формулы даны для этой величины. Рассчитаем приведенное с учетом недельной рабочей нагрузки рентгеновского аппарата значение амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)_{пр}$ за неделю:

$$\dot{H}^*(10)_{пр} = \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot W \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{час} \cdot \text{мА}} \cdot \frac{\text{мА} \cdot \text{мин}}{\text{нед}} \right] = \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot \frac{W}{60} \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{нед}} \right], \quad (4)$$

а с учетом годовой нагрузки аппарата:

$$\dot{H}^*(10)_{пр} = \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot \frac{W \cdot 50}{60} \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{нед}} \cdot \frac{\text{нед}}{\text{год}} \right] = 0,83 \cdot \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot W \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{год}} \right], \quad (5)$$

Формулу для расчета значения приведенной мощности амбиентного эквивалента дозы в помещениях и на территориях различного назначения для различных категорий облучаемых лиц получим делением выражения (5) на их возможную продолжительность пребывания там в течение года $t_c \cdot n \cdot T$:

$$\dot{H}^*(10)_{пр} = 0,83 \cdot \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot \frac{W}{t_c \cdot n \cdot T} \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{год}} \cdot \frac{\text{год}}{\text{час}} = \frac{\text{мкЗв}}{\text{час}} \right], \quad (6)$$

Причем в частном случае для персонала группы А она совпадает с формулой из СанПин 2.6.1.1192-03:

$$\dot{H}^*(10)_{пр} = 0,83 \cdot \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot \frac{W}{t_c \cdot n \cdot T} = 0,83 \cdot \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot \frac{W}{1500 \cdot 1 \cdot 1} = \frac{\dot{H}^*(10)_{изм} \cdot W}{I_{изм} \cdot 1800}, \quad (7)$$

Нижеприведенная формула (8) аналогична, только оперирует измеренным значением амбиентного эквивалента дозы, а не его мощности:

$$\begin{aligned} \dot{H}^*(10)_{пр} &= \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{Q_{изм}} \cdot \frac{W}{t_c \cdot n \cdot T} = \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм} \cdot t} \cdot \frac{W}{t_c \cdot n \cdot T} \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{мА} \cdot \text{с}} \cdot \frac{\text{мА} \cdot \text{мин} \cdot \text{год}}{\text{нед} \cdot \text{час}} \right] = \\ &= \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм} \cdot t} \cdot \frac{W}{t_c \cdot n \cdot T} \cdot \frac{3600 \cdot 50}{60} \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{мА} \cdot \text{час}} \cdot \frac{\text{мА} \cdot \text{мин} \cdot \text{нед}}{\text{нед} \cdot \text{мин}} \right] = \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм} \cdot t} \cdot \frac{3000 \cdot W}{t_c \cdot n \cdot T} \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{час}} \right], \quad (8) \end{aligned}$$

Формулы (5–8) приведены для амбиентного эквивалента дозы, являющегося консервативной оценкой эффективной дозы рентгеновского излучения. Чтобы оценить степень этой консервативности, на рисунке 2 приведены результаты расчетов отношения амбиентного эквивалента дозы к эффективной дозе ($H^*(10)/E(AP)$) для ряда спектров рентгеновского излучения, используемых в медицинских исследованиях. Среднее значение этого отношения в диапазоне напряжений на рентгеновской трубке от 50 до 140 кВ для передне-задней геометрии облучения составляет 1,7. Для спектров, связанных с маммографией, это отношение возрастает до значения 5,6. Таким образом, если результат измерений $H^*(10)$ за защитой существенно меньше значения ДМЭД, то условия облучения в данном помещении удовлетворяют требованиям РБ. Если же измеренные значения близки к значениям ДМЭД или даже немного больше, то для обоснования существующей защиты помещения можно использовать тот факт, что измеренное значение $H^*(10)$ завышает оценку эффективной дозы.

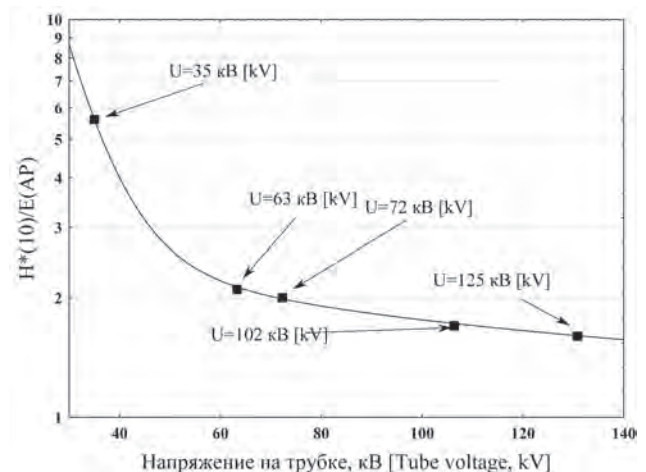


Рис. 2. Отношение амбиентного эквивалента дозы к эффективной дозе для ряда спектров рентгеновского излучения, используемых в медицинских диагностических исследованиях

[Fig. 2. Ambient dose equivalent to effective dose ratio for a range of X-ray spectra for medical imaging]

Анализ различий между существующей и предлагаемой методикой радиационного контроля полей рентгеновского излучения при его использовании в медицине

В этом разделе представлено сравнение процедур и результатов РК на рабочих местах и в смежных помещениях, согласно действующей методике и методике, предлагаемой в настоящем исследовании. В качестве исходных данных для сравнения использовали результаты реальных протоколов измерений в ряде медицинских организаций г. Москвы.

*Радиационный контроль на рабочих местах персонала
в процедурной комнате*

Согласно СанПин 2.6.1.1192-03, измерения поглощенной дозы в воздухе в процедурной комнате проводятся в 4 точках: на уровне головы, на уровне груди, на уровне таза и на уровне ног. Далее на основании результатов этих измерений рассчитывается значение мощности эффективной дозы следующим образом:

$$\dot{E} = 0,5 \cdot \left[0,15 \cdot \overset{160}{D_{np}} + 0,3 \cdot \overset{120}{D_{np}} + 0,5 \cdot \overset{80}{D_{np}} + 0,05 \cdot \overset{30}{D_{np}} \right], \text{ мкЗв/ч} \quad (9)$$

где $\dot{E}$ – мощность эффективной дозы, мкЗв/ч; $\overset{160}{D_{np}}, \overset{120}{D_{np}}, \overset{80}{D_{np}}, \overset{30}{D_{np}}$ – значения мощностей поглощенной дозы в воздухе, приведенные к рабочей нагрузке аппарата, измеренные на уровне головы (160 см), груди (120 см), таза (80 см) и ног (30 см), мкГр/ч; 0,5 – коэффициент перехода от поглощенной дозы в воздухе к эффективной дозе, мкЗв/мкГр.

В дальнейшем (п. 15 Приложения 11 СанПин 2.6.1.1192-03) значение мощности эффективной дозы, оцененное по формуле (9), предлагается сравнивать с регламентированными значениями мощности поглощенной дозы в воздухе в помещениях различного назначения (табл. 4.2). На наш взгляд, это неправильно, т.к. значение мощности эффективной дозы сравнивается со значением мощности поглощенной дозы в воздухе. То есть с данными таблицы 4.2 нужно сравнивать приведенное значение поглощенной дозы в воздухе, а не эффективной дозы. Правда, тогда встает вопрос, какое из 4 измеренных значений использовать. По-видимому, учитывая существенную неравномерность поля излучения на рабочих местах в процедурной комнате, нужно использовать значение взвешенного среднего из 4 измеренных значений мощности поглощенной дозы:

$$\overset{взв}{D_{np}} = \left[0,15 \cdot \overset{160}{D_{np}} + 0,3 \cdot \overset{120}{D_{np}} + 0,5 \cdot \overset{80}{D_{np}} + 0,05 \cdot \overset{30}{D_{np}} \right], \text{ мкГр/ч} \quad (10)$$

Использование максимального значения из 4 измеренных значений мощности поглощенной дозы вряд ли оправдано, т.к. это будет сильно искажать окончательный результат из-за значительного градиента мощности дозы на рабочих местах персонала, особенно при использовании защитного фартука.

В отличие от действующей методики РК, мы предлагаем проводить измерения амбиентного эквивалента дозы на двух уровнях от пола, на уровне головы – шеи (часть тела, не защищенная фартуком) и середины торса (часть тела, защищенная фартуком). После чего мощность эффективной дозы на рабочем месте оценивается следующим образом:

$$\dot{E} = 0,1 \cdot \dot{H}^*(10)_{np}^{160} + \frac{0,9 \cdot \dot{H}^*(10)_{np}^{100}}{k_{фарт.}} \quad (11)$$

где $\dot{E}$ – мощность эффективной дозы, мкЗв/ч; $\dot{H}^*(10)_{np}^{160}$ и $\dot{H}^*(10)_{np}^{100}$ – значения мощности амбиентного эквивалента дозы, приведенные к стандартной рабочей нагрузке рент-

геновского аппарата на основе измеренных значений на уровне 160 см и 100 см от пола; $k_{фарт.}$ – коэффициент ослабления рентгеновского излучения защитным фартуком.

То есть теперь, во-первых, в качестве результатов измерений предлагается использовать значение мощности амбиентного эквивалента дозы – величину, которую измеряют подавляющее число современных приборов. Во-вторых, предлагается учитывать использование персоналом защитного фартука, что никак не было отражено в действующей методике при интерпретации результатов РК. Влияние на результат измерения ослабления рентгеновского излучения защитным фартуком можно учесть различными способами (в порядке приоритета):

- производить измерения за защитным фартуком;
- использовать значения $k_{фарт.}$ из протоколов испытаний средств индивидуальной защиты;
- использовать справочные данные для значений $k_{фарт.}$ на основе значений свинцовых эквивалентов.

Нами были проанализированы результаты измерений в протоколах РК рабочих мест персонала для действующих рентгеновских кабинетов в медицинских организациях г. Москвы. На основании результатов измерений, представленных в этих протоколах, мы попытались сравнить выводы, которые можно сделать о соответствии условий работы персонала группы А, согласно действующей и предлагаемой здесь методикам РК. Так как исходные результаты измерений в медицинских организациях соответствовали мощности амбиентного эквивалента дозы, то для применения их в рамках действующей методики РК (СанПин 2.6.1.1192-03) они были пересчитаны в значения поглощенной дозы в воздухе делением на коэффициент 1,5, являющийся средним значением отношения амбиентной и поглощенной доз в воздухе в диапазоне напряжений на трубке от 50 до 140 кВ. Этот коэффициент был рассчитан нами на основании данных о реальных спектрах рентгеновского излучения, как падающих на защиту, так и прошедших через нее [9, 10] (рис. 3).

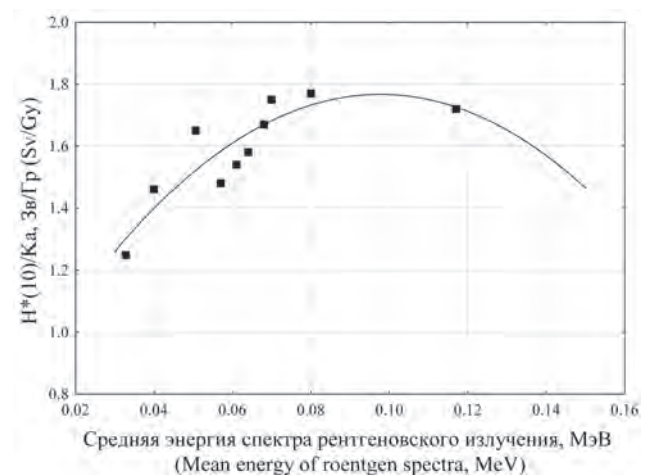


Рис. 3. Отношение амбиентного эквивалента дозы к поглощенной дозе в воздухе для ряда спектров рентгеновского излучения, используемых в медицинских диагностических исследованиях

[Fig. 3. Ambient dose equivalent to absorbed dose in air ratio for a range of X-ray spectra for medical imaging]

Далее в рамках действующей методики РК рассчитывалось значение $\dot{D}_{np}$ (формула (10)), которое сравнивалось со значением ДМД. Кроме того, пересчет результатов РК по действующей методике осуществлялся второй раз с учетом того, что работник носит защитный фартук, и снова эти результаты сравнивались со значением ДМД. В рамках предлагаемой методики РК рассчитывалось значение $\dot{E}$ (формула (11)), которое сравнивалось со значением ДМЭД.

Сравнение результатов РК на рабочих местах персонала (в процедурной рентгенохирургического или ангиографического кабинета), выполненное согласно действующей и предлагаемой методикам, представлено в таблице 1. Для оценки соответствия условий труда требованиям радиационной защиты персонала значения $\dot{D}_{np}$ (мкГр/ч) и $\dot{E}$ (мкЗв/ч), полученные на основании измерений на рабочих местах, следует сравнить со значениями ДМД или ДМЭД соответственно. Оказалось, что значения $\dot{D}_{np}$, рассчитанные по действующей методике для условий труда без защитного фартука, во всех случаях существенно превышают значение ДМД = 13 мкГр/ч. То есть условия труда медицинского персонала, работающего в процедурной без защитного фартука, не соответствуют требованиям РБ в рамках действующей методики. Однако при наличии защитного фартука уже в 2/3 случаев значения $\dot{D}_{np}$ меньше ДМД. Согласно предлагаемой ме-

тодике РК, в 3 случаях из 12 наблюдалось превышение ДМЭД = 13 мкЗв/ч. Тем не менее, т.к. в качестве оценки эффективной дозы в предлагаемой методике используется амбиентный эквивалент дозы, который в среднем переоценивает значения эффективной дозы в диапазоне напряжений на рентгеновской трубке от 50 до 140 kV в 1,7 раза, а в реальности не было превышения более чем в 1,5 раза, то, согласно предлагаемой методике РК, для всех использованных примеров можно говорить о соответствии условий труда персонала требованиям РБ.

Радиационный контроль в смежных помещениях

Выше были получены выражения для расчета приведенных значений измеренных за защитой мощностей доз, которые соответствуют разному относительному времени пребывания разных категорий лиц в соответствующих помещениях.

Формулы для расчета приведенных значений мощностей доз в рамках действующего $\dot{H}^*(10)_{np}^{нов}$ и предлагаемого $\dot{H}^*(10)_{np}^{см}$ подходов (если в обоих случаях измеряется амбиентный эквивалент дозы) выглядят следующим образом:

$$\dot{H}^*(10)_{np}^{см} = 0,83 \cdot \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot \frac{W}{1500} \left[\frac{\text{мкГр}}{\text{час}} \right] \quad (12)$$

$$\dot{H}^*(10)_{np}^{нов} = 0,83 \cdot \frac{\dot{H}^*(10)_{изм}}{I_{изм}} \cdot \frac{W}{t_c \cdot n \cdot T} \left[\frac{\text{мкЗв}}{\text{час}} \right] \quad (13)$$

Таблица 1
Сравнение мощностей эффективной дозы на рабочих местах персонала для рассмотренных рентгеновских аппаратов
[Table 1
Comparison of effective dose rates at staff workplaces for the examined X-ray units]

Рентгеновский аппарат [X-ray unit]	Тип аппарата [Type of X-ray unit]	Рабочее место [Work place]	$\dot{D}_{np}$ (мкГр/ч) [Kerma rate in air (μGy/h)] согласно СанПиН [according to the SanPiN 2.6.1.1192-03]	$\dot{E}$ (мкЗв/ч) [Effective dose rate (μSv/h)] согласно предлагаемой методике РК [according to the proposed method]	ДМД/ДМЭД [Permissible kerma rate/ Permissible effective dose rate]
OEC Fluorostar Compact	С-Дуга [C-arm]	1	¹⁾ 59,6/ ²⁾ 13,2	11,5	13 мкГр/ч/ 13 мкЗв/ч [13 μGy/h/ 13 μSv/h]
		2	67,3/13,7	13,6	
OEC 9900 Elite	С-Дуга [C-arm]	1	28/4,9	5,8	
		2	31,2/6,8	6,7	
OEC 9900 Elite	С-Дуга [C-arm]	1	60,5/12,3	12,5	
		2	92,4/16,8	18,5	
Carmex	С-Дуга [C-arm]	1	68,7/13,3	12,7	
		2	29/13	6,0	
Infinix VC-i	Ангиограф [Angio X-ray unit]	1	36/10,3	8,3	
		2	62,1/17,3	13,9	
OEC Elite 9900	С-Дуга [C-arm]	1	63,2/16,3	13,0	
		2	25,2/5,5	5,9	

¹⁾Значение, рассчитанное без учета средств индивидуальной защиты; ²⁾Значение, рассчитанное с учетом средств индивидуальной защиты [¹⁾value calculated without considering the personal protective equipment; ²⁾value calculated considering the personal protective equipment].

Таблица 2

Численные различия предлагаемого и действующего подходов в расчетах приведенных значений мощностей доз на основании измеренных значений

[Table 2]

Numerical differences between the proposed and current approaches in calculating the reduced values of dose rates based on measured values]

$t_c \cdot n \cdot T$, час/год [hours per year]	Помещение, территория [Rooms, territory]	$\dot{H}^*(10)_{np}^{нов}$ / $\dot{H}^*(10)_{np}^{ст}$
1500	Помещения постоянного пребывания персонала группы А (процедурная, комната управления, комната приготовления бария, фотолaborатория, кабинет врача-рентгенолога, предоперационная и др.) [Rooms of the constant stay of the staff belonging to the group A (room for X-ray examinations, control room, room for the preparation of the barium media, photolaboratory, radiologist's office, pre-operating room, etc.)]	$\frac{1500}{1500} = 1$
2000	Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета, имеющие постоянные рабочие места персонала группы Б [Rooms adjacent vertically and horizontally with X-ray examination room with the constant workplaces of the staff belonging to the group B]	$\frac{1500}{2000} = 0.75$
500	Помещения, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета без постоянных рабочих мест персонала группы Б (холл, гардероб, лестничная площадка, коридор, комната отдыха, уборная, кладовая и другие) [Rooms adjacent vertically and horizontally with X-ray examination room without constant workplaces of the staff belonging to the group B (hall, wardrobe, water closet, stairs, corridor, storage rooms, etc.)]	$\frac{1500}{500} = 3$
120	Помещения эпизодического пребывания персонала группы Б (технический этаж, подвал, чердак и др.) [Rooms of the episodic stay of the staff belonging to the group B (technical floor, cellar, attic, etc.)]	$\frac{1500}{120} = 12.5$
750	Палаты стационара, смежные по вертикали и горизонтали с процедурной рентгеновского кабинета [Patient wards adjacent vertically and horizontally with X-ray examination room]	$\frac{1500}{750} = 2$
360	Территория, прилегающая к наружным стенам процедурной рентгеновского кабинета [Territory adjacent to the outer walls of the X-ray examination room]	$\frac{1500}{360} = 4.2$
3000	Жилые и служебные помещения зданий, расположенных на территории, прилегающей к наружным стенам процедурной рентгеновского кабинета, жилые помещения, смежные со стоматологическим кабинетом или процедурной рентгеновского стоматологического кабинета. [Residential and administrative rooms of the dwellings located on the territory adjacent to the outer walls of the X-ray examination room, living rooms adjacent to the dental X-ray room or dental X-ray examination room]	$\frac{1500}{3000} = 0.5$

Численные различия этих двух подходов в расчетах приведенных значений мощностей доз на основании измеренных значений представлены в таблице 2.

Эти различия отражают тот факт, что учитывается возможное относительное время пребывания отдельных категорий лиц в соответствующих помещениях во время работы рентгеновского аппарата, а не используется одно и то же значение (для персонала группы А), как в действующей методике РК. При этом предлагаемый подход полностью совпадает с действующим в случае персонала группы А. Для других категорий облучаемых лиц и помещений, согласно предлагаемому подходу к интерпретации результатов измерений, возможно как увеличение, так и уменьшение приведенных значений мощностей доз по отношению к результатам, получаемым в рамках действующего подхода. То есть возможно как ослабление,

так и ужесточение требований к толщине конструкций стационарной защиты.

Расчет защиты в случае размещения в кабинете нескольких рентгеновских аппаратов

В заключение обсудим ситуацию, связанную с расчетом защиты при размещении нескольких рентгеновских аппаратов в одной процедурной. В действующем СанПин 2.6.1.1 192-03 говорится, что «расчет защиты для двух или более рентгеновских аппаратов, установленных в одной процедурной, должен проводиться для аппарата с наибольшими номинальными значениями анодного напряжения и рабочей нагрузки», то есть остальные аппараты не учитываются. Однако если посмотреть на формулу 4.1 из СанПин 2.6.1.1 192-03, то из нее следует, что значение кратности ослабления защиты (коэффициент К) зависит

от значения рабочей нагрузки рентгеновского аппарата W и что если одновременная работа нескольких аппаратов запрещена, то попеременная нет.

В новом подходе предлагается учитывать наличие в процедурной нескольких аппаратов следующим образом: «Расчет защиты для двух или более медицинских рентгеновских аппаратов одного или различного назначения, установленных в одной процедурной, проводится с учетом рабочей нагрузки всех аппаратов по формуле:

$$K = \frac{C^E \cdot 10^3}{DMЭД \cdot 30} \cdot \sum_i \frac{R_i \cdot W_i \cdot N_i}{r_i^2} \quad (14)$$

Необходимая толщина защитных ограждений определяется по значению свинцового эквивалента, соответствующего наибольшему номинальному анодному напряжению из всех аппаратов».

Чтобы пояснить, приведет ли предложенный алгоритм к существенному увеличению толщины защиты, проиллюстрируем это следующим примером. Пусть в рентгеновском кабинете находится рентгеновский аппарат общего назначения. Расчет необходимой толщины защиты прямого излучения этого аппарата для помещений постоянного пребывания персонала группы А на расстоянии 3 м от фокуса трубки ($U=100\text{кВ}$, $W=1000\text{ мА-мин/нед.}$) дает значение 2,11 мм Pb. Добавим в этот кабинет стоматологический аппарат с параметрами $U=75\text{кВ}$, $W=200\text{ мА-мин/нед.}$ Расчет коэффициента ослабления для того же расстояния 3 м для 2 аппаратов по формуле (14) приводит к значению толщины защиты 2,16 мм Pb. Таким образом, увеличение толщины защиты за счет работы второго аппарата с меньшим напряжением на аноде трубки составит всего лишь 0,05 мм Pb. Добавление в рентгеновский кабинет в качестве второго аппарата такого же, как и первый, приведет к увеличению толщины защиты на 0,25 мм Pb.

Заключение

В статье представлен анализ недостатков существующей методики РК:

- некорректный учет категории облучаемых лиц, отличных от персонала группы А, при интерпретации результатов измерений мощности дозы рентгеновского излучения для оценки адекватности физической защиты помещения;
- неучет использования средств индивидуальной защиты (защитные фартуки, передники) при интерпретации результатов измерений на рабочих местах персонала группы А в процедурной;

– некорректный учет наличия нескольких рентгеновских аппаратов в процедурной при расчете толщины стационарной защиты

Предлагаются пути устранения указанных недостатков.

В рамках нового подхода предложен способ учета использования работниками индивидуальных средств защиты при интерпретации результатов измерений для оценки условий РБ в процедурной. Оценены возможный консерватизм в оценке нормируемых величин (эффективная доза) с помощью измерений амбиентного эквивалента дозы для типичных спектров диагностического рентгеновского излучения и влияние предлагаемых изменений в методике РК на требования к толщине конструкций стационарной защиты помещений.

Литература

1. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по Радиационной защите от 2007 г.: пер. с англ. / под общ. ред. М.Ф. Киселева. Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана». 2009. 312 с.
2. Кутыков В.А. Современная система дозиметрических величин // АНРИ. 2000. № 1(20). С. 4-17.
3. ICRP. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116, Ann. ICRP. 2010. 40(2-5).
4. Васильев В.Н., Лебедев Л.А., Сидорин В.П., Ставицкий Р.В. Спектры излучения рентгеновских установок. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1990. 144 с.
5. NCRP. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. NCRP Report No. 147 (National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland). 2004.
6. Colin J. Martin. Radiation shielding for diagnostic radiology // Radiation Protection Dosimetry. 2015. Vol. 165. No 1-4. P. 376-81.
7. Dixon R.L. and Simpkin D.J. Primary Shielding Barriers for Diagnostic X-ray Facilities: A New Model // Health Physics. 1998. No 74. P. 181-189.
8. Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Оценка значений рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов при проведении рентгенологических процедур общего назначения // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 2. С. 6-10.
9. IAEA. Implementation of the international Code of Practice on dosimetry in diagnostic radiology. (TRS 457): Review of test results (Vienna; International Atomic Energy Agency). 2011.
10. Santos J.S., Mariano L., Tomal A., and Costa P.R. Evaluation of conversion coefficients relating air-kerma to $H^*(10)$ using primary and transmitted x-ray spectra in the diagnostic radiology energy range. Journal of Radiological Protection. 2016. Vol. 36. P. 117-132.

Поступила: 22.02.2021 г.

Голиков Владислав Юрьевич – старший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sg235@rambler.ru

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева; доцент, кафедра общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Критический анализ и предложения по совершенствованию существующей системы радиационного контроля в рентгеновских кабинетах // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 39–47. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-39-47

Critical analysis and suggestions to improve the existing system of radiation control in X-ray rooms

Vladislav Yu. Golikov¹, Aleksandr V. Vodovатов^{1,2}

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

This paper demonstrates the shortcomings of the existing method of radiation control in the X-ray rooms and the interpretation of the results of the measurements to assess the compliance of the working conditions of various groups of exposed individuals with radiation safety requirements. A new method of interpretation of the measurement results is proposed, considering the relative time spent by certain categories of exposed persons in the corresponding rooms during the use of the X-ray units, as well as the use of personal protective equipment (lead aprons). The interpretation of the measurement results in the treatment room according to the new approach has demonstrated the compliance of the working conditions to the Norms and Rules of radiation safety, provided that the worker is wearing a protective apron. The proposed approach to the interpretation of the results of the measurements in adjacent rooms leads to both reduced and stricter requirements for the stationary shielding. The paper includes a special focus on the incorrect calculation of stationary shielding for the installation of several X-ray units in one X-ray room within the framework of the current approach.

Key words: radiation protection, radiation control, X-ray room, medical staff, ambient dose equivalent.

References

1. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. «Alana»; 2009. 312 p. (In Russian)
2. Kutkov VA. Modern system of dosimetric quantities. *ANRI* = *ANRI*. 2000; 1(20): 4-17. (In Russian)
3. ICRP, 2010. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40(2-5).
4. Vasilev VN, Lebedev LA, Sidorin VP, Stavitsky RV. X-ray radiation spectra. Reference Book. Moscow: Energoatomizdat; 1990. 144 p. (In Russian)
5. NCRP (2004). National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. NCRP Report No. 147 (National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland).
6. Colin J Martin. Radiation shielding for diagnostic radiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015;165(1-4): 376-81.
7. Dixon RL and Simpkin DJ. Primary Shielding Barriers for Diagnostic X-ray Facilities: A New Model. *Health Physics*. 1998;74: 181-189.
8. Golikov VYu, Vodovатов AV. Estimation of an X-ray machine's workload during routine radiological examinations // *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*. 2015; 8(2): 6-10. (In Russian)
9. IAEA 2011. Implementation of the international Code of Practice on dosimetry in diagnostic radiology. (TRS 457): Review of test results (Vienna; International Atomic Energy Agency)
10. Santos JS, Mariano L, Tomal A, Costa PR. Evaluation of conversion coefficients relating air-kerma to H*(10) using primary and transmitted x-ray spectra in the diagnostic radiology energy range. *Journal of Radiological Protection*. 2016; 36: 117-132.

Received: February 22, 2021

For correspondence: Vladislav Yu. Golikov – Senior Researcher of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: sg235@rambler.ru)

Aleksandr V. Vodovатов – Ph.D., Head of Protection Laboratory, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Golikov V.Yu., Vodovатов A.V. Critical analysis and suggestions to improve the existing system of radiation control in X-ray rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 39-47. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-39-47

Vladislav Yu. Golikov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: sg235@rambler.ru

Критерии медицинского реагирования на радиологические аварии в Республике Беларусь

К.Н. Буздалкин¹, Н.Г. Власова¹, А.В. Рожко¹, В.Н. Бортновский²

¹ Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека,

Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

² Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека во внутреннем и внешнем аварийных планах Белорусской АЭС указан учреждением, осуществляющим специализированное лечение персонала, а также пострадавших лиц из населения, проживающего в зоне аварийного воздействия станции, случайных свидетелей аварии. Белорусская АЭС является первым объектом использования атомной энергии в стране. Опыта лечения радиационных поражений в Беларуси нет. Задача обеспечения готовности к приему и специализированному лечению лиц, подвергшихся аварийному или незапланированному облучению, ставится перед национальным здравоохранением впервые. Цель исследования — установить критерии радиационного воздействия для использования при медицинском реагировании на радиологические аварии в специализированном медицинском учреждении Министерства здравоохранения Республики Беларусь. В результате анализа публикаций международных организаций выбраны критерии радиационного воздействия, которые могут быть применены в условиях белорусских специализированных медицинских учреждений с учетом действующих национальных технических нормативных правовых актов и имеющихся возможностей у участников аварийного реагирования. Для учета качества излучения применительно к детерминированным эффектам принято использовать единицу, ранее не применяемую в Беларуси, — Грей-эквивалент. Критерии включают как дозиметрические величины для случаев внешнего и внутреннего аварийного и незапланированного облучения, так и уровни поступления радиоактивных веществ с неизвестными физико-химическими свойствами в организм, при которых необходимо немедленное медицинское обследование. Отдельного рассмотрения требуют критерии для случаев поверхностного загрязнения кожных покровов и ран радионуклидами.

Ключевые слова: радиологическая авария, радиационное воздействие, медицинское реагирование, критерий.

Введение

К медицинскому реагированию в случае радиационной аварии обычно относят мероприятия, связанные с осуществлением предупредительных и срочных защитных мер. Однако в случае переоблучения лиц проводятся также медицинская сортировка на месте аварийной ситуации, декорпорация радионуклидов и индивидуальное специализированное лечение в стационаре по показаниям.

Указанные медицинские процедуры должны применяться оперативно и при любых обстоятельствах на основании медицинских симптомов и результатов дозиметрического обследования. Для определения средств и методов медицинского лечения необходимы данные аварийного индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения, оперативных измерений *in vivo* содержания радионуклидов в теле и отдельных органах, поверхностного загрязнения кожных покровов, лабораторных анализов биосубстратов *in vitro*, а также результа-

ты прогноза и реконструкции доз аварийного облучения [1, 2].

В государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» (далее Центр) будет осуществляться специализированное лечение персонала Белорусской АЭС. В настоящее время опыта оценки аварийных и незапланированных доз внутреннего облучения свыше 0,1 мЗв и лечения радиационных поражений в Беларуси нет. Задача обеспечения готовности к приему и специализированному лечению лиц, подвергшихся аварийному или незапланированному облучению, ставится перед национальным здравоохранением впервые.

Согласно «Положению об отраслевой подсистеме государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Министерства здравоохранения Республики Беларусь» от 23.12.2009 г. № 138¹, на базе Центра создана радиологическая бригада для организации и оказания специализированной медицинской по-

Бортновский Владимир Николаевич

Гомельский государственный медицинский университет

Адрес для переписки: ул. Ланге 5, Гомель, 246000, Беларусь. E-mail: kafog2@mail.ru

мощи населению, пострадавшему при чрезвычайных ситуациях, связанных с радиационной аварией на объектах использования атомной энергии. Центр во внутреннем и внешнем аварийных планах Белорусской АЭС указан учреждением, осуществляющим специализированное лечение персонала, а также лиц из населения, проживающего в зоне аварийного воздействия станции, случайных свидетелей аварии. В планах указан критерий отправки на специализированное лечение – «доза облучения пораженных должна превышать 1 Зв».

Министерством здравоохранения Республики Беларусь и руководством Центра были приняты необходимые меры по обеспечению готовности к медицинскому реагированию. Приказом министерства в 2017 г. на базе Центра была создана научно-методическая группа Ситуационного кризисного центра Минздрава, которой, в частности, было поручено проводить оценку доз облучения и рассчитывать прогнозы медицинских последствий облучения. Приказом директора Центра в 2018 г. под отделение радиационных поражений Ситуационного кризисного центра выделено 60 коек [3]. В Центре начата подготовка к проведению оценок доз внутреннего облучения, в том числе поглощенных доз в щитовидной железе, к цитогенетической дозиметрии, к лабораторным биоанализам *in vitro* и *in vivo*, а также измерениям содержания ^{24}Na в пробах крови для дозиметрии в аварийных ситуациях с возникновением критичности при работе ядерного реактора [4].

Для определения степени тяжести и стадии заболевания, прогнозирования характера течения болезни и возможных осложнений, правильного выбора средств и методов квалифицированного лечения необходимы специальные критерии радиационного воздействия. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) разработало основные медицинские процедуры для реагирования на радиологические аварии [1]. С целью обеспечения эффективности применения процедур МАГАТЭ рекомендует их адаптировать с учётом действующих национальных технических нормативных правовых актов и имеющихся возможностей у участников аварийного реагирования.

Цель исследования – установить критерии радиационного воздействия для использования при медицинском реагировании на радиологические аварии в специализированном медицинском учреждении Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

Задачи исследования

Выполнить анализ публикаций международных организаций и выбрать критерии радиационного воздействия, которые могут быть применены в условиях белорусских специализированных медицинских учреждений с учётом действующих национальных технических нормативных правовых актов и имеющихся возможностей у участников аварийного реагирования.

Материалы и методы

Результаты исследований относятся к случаям аварийного и незапланированного внешнего и внутреннего облучения органов и тканей, для которых МАГАТЭ разработало общие критерии [2]. Общие критерии основаны на современных знаниях о детерминированных эффектах и установлены на уровнях доз, приближающихся к порогам для серьёзных детерминированных эффектов. Обоснования численных значений критериев, учитывающих детерминированные эффекты, изложены в [5].

Изучены рекомендации и публикации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и МАГАТЭ в области обеспечения радиационной безопасности [1, 2, 5, 6]. При подготовке статьи использовались также методические указания Российской Федерации, национальные технические нормативные правовые акты и локальные правовые акты учреждений и предприятий, участвующих в медицинском реагировании на ядерные и радиологические аварийные ситуации в Республике Беларусь.

Результаты и обсуждение

Проведен анализ требований, предъявляемых к критериям радиационного воздействия для использования при медицинском реагировании на радиологические аварии. Установленные в республике критерии радиационного воздействия предназначены для принятия решений о применении срочных и долгосрочных медицинских мер. Приведённые в гигиенических нормативах Республики Беларусь дозовые коэффициенты (Зв на 1 Бк поступления радионуклида в организм) относятся только к диапазону малых доз (ниже 100 мЗв) и предназначены для оценки стохастических эффектов.

Однако при эксплуатации Белорусской АЭС возможны ситуации, в которых необходимо оценивать детерминированные эффекты, т.е. дозы облучения, значительно превышающие 0,1 Зв. При осуществлении медицинских мероприятий в специализированном медицинском учреждении необходимы иные критерии и детальная дозиметрическая информация, дополнительные данные, например, об объёме облучённой ткани, подлежащему удалению во время хирургического лечения локального лучевого поражения, или свидетельствующие об эффективности декорпорации в случае поступления радионуклидов в организм.

Зиверт и его производные как единицы измерения используются только для оценки стохастических эффектов облучения органов, тканей или всего тела. Использование этой единицы измерения некорректно для оценки доз облучения, превышающих 0,1 Зв. Для учета качества излучения применительно к детерминированным эффектам МКРЗ, МАГАТЭ и ВОЗ предложили использовать единицу «Грей-эквивалент», в частности, чтобы подчеркнуть отличие оцениваемого показателя от эквивалентной дозы [1, 7]. В Грей-эквивалентах предлагалось выражать исклю-

¹ «Положение об отраслевой подсистеме государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Министерства здравоохранения Республики Беларусь» от 23.12.2009 г. № 138 [“Regulations on the Branch subsystem of the State system of emergency prevention and response of the Ministry of health of the Republic of Belarus” dated 23.12.2009 No. 138 (In Russ.)]

чительно усреднённую по определённому органу или ткани поглощённую дозу, взвешенную с учётом относительной биологической эффективности (ОБЭ) излучения AD_T :

$$AD_T = \sum D_{R,T} \cdot RBE_{R,T}, \quad (1)$$

где $D_{R,T}$ – средняя поглощённая доза в органе или ткани T от излучения R , Гр,

$RBE_{R,T}$ – относительная биологическая эффективность излучения R в органе или ткани T .

Согласно МУ 2.6.5.040-2016², допустимая погрешность оценки доз внутреннего и внешнего облучения, превышающих 1 Зв, оценивается в 100% и 25% соответственно.

ОБЭ-взвешенная поглощённая доза $AD_T(\tau)$, Гр-экв, ожидаемая за время τ , прошедшее после поступления радиоактивного материала, равна:

$$AD_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} AD_T(t) dt, \quad (2)$$

где $AD_T(t)$ – мощность ОБЭ-взвешенной поглощённой дозы в момент времени t в органе или ткани T ,

t_0 – время поступления радионуклидов в орган или ткань T .

Относительная биологическая эффективность определяется отношением дозы излучения с низкой линейной передачей энергии к дозе рассматриваемого излучения, которая создаст идентичный биологический эффект. В случае поступления радиоактивного материала ОБЭ-взвешенная поглощённая доза характеризует внутреннее облучение органов и тканей человека в соответствии с качеством излучения и его распределением по телу условного человека. Величина ОБЭ зависит от дозы и мощности дозы, качества излучения, ожидаемого биологического эффекта, а также органа или ткани. Значения коэффициентов ОБЭ в национальных нормативных правовых актах не установлены, поэтому предлагается использовать величины в соответствии с руководством МАГАТЭ [2] (табл. 1).

ОБЭ-дозы, рассчитанные в соответствии с (1) и (2), сравниваются с дозовыми критериями медицинского реагирования отдельно для поступления радиоактивного материала и для внешнего облучения. В таблице 2 приведены дозиметрические критерии, которые предлагается использовать при медицинском реагировании на

Значения ОБЭ для некоторых детерминированных эффектов (внешнее β - и γ -облучение включает облучение от тормозного излучения) [2]

Таблица 1

[Table 1]

RBE values for some deterministic effects (external β - and γ -irradiation includes bremsstrahlung) [2]

Эффект [Effect]	Критический орган [Critical organ]	Вид облучения [Type of radiation]	$RBE_{T,R}$	Примечание [Note]
Синдром поражения кроветворения [The syndrome of defeat of hematopoiesis]	Красный костный мозг [Red marrow]	Внутреннее и внешнее [Internal and external] γ	1	
		Внутреннее и внешнее [Internal and external] n	3	
		Внутреннее β	1	
		Внутреннее α	2	
Пневмония [Pneumonia]	Легкие [Lungs]	Внутреннее и внешнее [Internal and external] γ	1	Ткань альвеолярно-интерстициального отдела респираторного тракта [Tissue of the alveolar-interstitial part of respiratory tract]
		Внутреннее и внешнее [Internal and external] n	3	
		Внутреннее [Internal] β	1	
		Внутреннее [Internal] α	7	
Желудочно-кишечный синдром [Gastrointestinal syndrome]	Толстый кишечник [Large intestine]	Внутреннее и внешнее [Internal and external] γ	1	Предполагается, что облучение стенок кишечника незначительно в случае альфа-излучателей, однородно распределённых в содержимом толстого кишечника [It is assumed that the irradiation of the intestinal walls is insignificant in the case of alpha emitters uniformly distributed in the contents of the large intestine]
		Внутреннее и внешнее [Internal and external] n	3	
		Внутреннее [Internal] β	1	
		Внутреннее [Internal] α	0	
Некроз [Necrosis]	Мягкие ткани [Soft tissues]	Внешнее [External] γ, β	1	Ткань на глубине 5 мм от поверхности кожи на участке более 100 см ² [Tissue at a depth of 5 mm from the skin surface in an area of more than 100 cm ²]
		Внешнее [External] n	3	

² МУ 2.6.5.040-2016. Определение дозы незапланированного или аварийного облучения персонала предприятий Госкорпорации «Росатом». М.: ФМБА, 2016. 34 с. [Methodical guidelines 2.6.5.040-2016 "Determination of the dose of unplanned or emergency radiation exposure to personnel of Rosatom State Corporation". Moscow, FMBA, 2016, 34 p. (In Russ.)]

Эффект [Effect]	Критический орган [Critical organ]	Вид облучения [Type of radiation]	$RBE_{T,R}$	Примечание [Note]
Влажная десквамация [Wet desquamation]	Кожа [Skin]	Внешнее [External] γ, β	1	Ткань на глубине 0,5 мм от поверхности на участке более 100 см ² [Tissue at a depth of 0.5 mm from the surface in an area of more than 100 cm ²]
		Внешнее [External] n	3	
Гипотиреоз [Hypothyroidism]	Щитовидная железа [Thyroid]	Поступление изотопов иода [Receipt of iodine isotopes]	0,2	Однородное облучение в пять раз повышает вероятность возникновения детерминированных эффектов (радийод накапливается неравномерно) [Homogeneous irradiation five times increases the probability of deterministic effects (radio-iodine accumulates unevenly)]
		Другие радионуклиды, накапливающиеся в щитовидной железе [Other radionuclides that accumulate in the thyroid]	1	

Таблица 2

Дозиметрические критерии для использования при медицинском реагировании на радиологические аварии [1]

[Table 2]

Dosimetric criteria for use in medical response to radiological accidents [1]

Критерий [Criterion]	Примечание [Note]
Внешнее облучение [External irradiation]	
$AD_{Torso} > 1$ Гр-экв [Gy-eq]	Относится к внешнему облучению красного костного мозга, легких, тонкого кишечника, гонад, хрусталика глаза и щитовидной железы от излучения однородного поля мощной проникающей радиации (обычно измеряется индивидуальным дозиметром) [It refers to external irradiation of the red marrow, lungs, small intestine, gonads, lens of the eye and thyroid gland from the radiation of a uniform field of powerful penetrating radiation (usually measured by an individual dosimeter)]
$AD_{Foetus} > 0,1$ Гр-экв [Gy-eq]	Сравнивается со значением AD_{Torso} для беременной женщины [It is compared with the AD_{Torso} value for a pregnant woman]
$AD_{Tissue} > 25$ Гр-экв [Gy-eq]	Доза на глубине 0,5 см от контакта с источником (например, переноска источника в руке или в кармане) [Dose at a depth of 0.5 cm from contact with the source (for example, carrying the source in a hand or pocket)]
$AD_{Skin} > 10$ Гр-экв [Gy-eq]	На площади до 600 см ² (для аппроксимации более чем 1/3 поверхности тела). Это доза на кожные структуры, находящиеся на глубине 50 мг/см ² (или 0,5 мм) [On an area of up to 600 cm ² (for approximating more than 1/3 of the body surface). This is the dose for skin structures located at a depth of 50 mg / cm ² (or 0.5 mm)]
Внутреннее облучение [Internal exposure]	
$AD(\tau)_{Red\ marrow} > 0,2$ Гр-экв при поступлении актинидов ($\tau = 30$ дней) [0,2 Gy-eq when actinides are received ($\tau = 30$ days)]	Здесь и далее $AD(\tau)$ – доза за период τ до достижения порогового поступления (I_{05}). Пороговым поступлением I_{05} является такое количество, которое приводит к воздействию на здоровье у 5% облученных лиц. Биокинетические процессы для актинидов и других радионуклидов различны ($AD(\tau)_{Red\ marrow}$ может отличаться до 50 раз, в то время как внутри группы отличаются не более чем в 3 раза) [Hereafter, $AD(\tau)$ is the dose for the period τ until the threshold intake (I_{05}) is reached. The threshold intake of I_{05} is the amount that leads to health effects in 5% of exposed individuals. The biokinetic processes for actinides and other radionuclides are different ($AD(\tau)_{Red\ marrow}$ can differ up to 50 times, while within a group they differ no more than 3 times)]
$AD(\tau)_{Red\ marrow} > 2$ Гр-экв при поступлении радионуклидов, отличных от актинидов ($\tau = 30$ дней) [2 Gy-eq upon receipt of the radionuclides, different from the actinides ($\tau = 30$ days)]	
$AD(\tau)_{Thyroid} > 2$ Гр-экв [Gy-eq] ($\tau = 30$ дней [days])	Для радионуклидов, поглощенных щитовидной железой как критическим органом: радиоактивных изотопов теллура, иода, технеция и рения [For radionuclides absorbed by the thyroid as a critical organ: the radioactive isotopes of tellurium, iodine, technetium, and rhenium]
$AD(\tau)_{Lung} > 30$ Гр-экв [Gy-eq] ($\tau = 30$ дней [days])	Здесь <i>Lung</i> означает газообменную область дыхательных путей [Here <i>Lung</i> means the gas exchange area of the respiratory tract]
$AD(\tau)_{Offspring} > 0,1$ Гр-экв [Gy-eq] (τ = период внутриматочного развития [period of intrauterine development])	

радиологические аварии [1]. В случае внешнего облучения порог для развития детерминированных эффектов зависит от дозы, мощности дозы и относительной биологической эффективности излучения. В случае

внутреннего облучения порог зависит от многих факторов, таких как поступившая активность, период полураспада, путь поступления, а также от радионуклида и метаболизма его соединений. Чтобы учесть все фак-

торы, порог для развития определённых детерминированных эффектов должен устанавливаться в терминах активности поступления.

Приведённые коэффициенты относительной биологической эффективности существенно отличаются от взвешивающих коэффициентов для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (от W_R – множителей поглощенной дозы, учитывающих относительную биологическую эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов и применяемых в радиационной защите [6]).

В Гигиеническом нормативе Республики Беларусь «Критерии оценки радиационного воздействия» от 28.12.2012 г. № 213³ значения критериев реагирования в случае острого облучения приведены в Грехах, а в примечаниях подчёркивается, что имеется ввиду ОБЭ-взвешенная поглощенная доза (при достижении которой необходимы срочные защитные и другие меры реагирования при любых обстоятельствах для предотвращения

или сведения к минимуму тяжелых детерминированных эффектов).

В СанПиН Республики Беларусь «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций» от 31.03.2010 г. № 39⁴ предельные рекомендуемые уровни доз для аварийных работников приведены в Зивертах (до 500 мЗв). Однако поясняется, что указана величина $H_p(10)$ – индивидуальный эквивалент дозы внешнего облучения, что удобно при использовании стандартных дозиметров (считается, что путем применения средств индивидуальной защиты дозы облучения, получаемые из-за непроникающего внешнего излучения и поступления радионуклидов в организм, предотвращаются).

Уровни поступления в организм радиоактивных веществ с неизвестными физико-химическими свойствами, которые требуют немедленного медицинского наблюдения и при необходимости декорпорации радионуклидов, выбраны в соответствии с [8] и приведены в таблице 3.

Таблица 3

Уровни поступления радиоактивного вещества, при которых необходимо немедленное медицинское наблюдение, Бк [8]

[Table 3]

Levels of radioactive substance intake that require urgent intervention, Bq [8]

Радионуклид [Radionuclide]	Поступление [Intake]	Радионуклид [Radionuclide]	Поступление [Intake]
³ H	2.6·10 ⁹	¹³⁴ Cs	7.2·10 ⁶
³² P	3.0·10 ⁷	¹³⁷ Cs	9.9·10 ⁶
⁵¹ Cr	1.4·10 ⁹	¹⁴⁰ Ba	1.7·10 ⁷
⁵⁴ Mn	6.3·10 ⁷	¹⁴¹ Ce	2.7·10 ⁷
⁵⁹ Fe	2.8·10 ⁷	¹⁴⁴ Ce	2.1·10 ⁶
⁵⁷ Co	9.9·10 ⁷	²⁰³ Hg	4.3·10 ⁷
⁵⁸ Co	4.7·10 ⁷	²²⁶ Ra	3.2·10 ⁴
⁶⁰ Co	3.7·10 ⁶	²²⁸ Ra	7.1·10 ⁴
⁶⁵ Zn	2.4·10 ⁷	²²⁸ Th	2.8·10 ³
⁸⁶ Rb	2.8·10 ⁷	²³² Th	8.5·10 ³
⁸⁵ Sr	1.1·10 ⁸	²³⁴ Th	1.1·10 ⁷
⁸⁹ Sr	1.2·10 ⁷	²³⁴ U	1.3·10 ⁴
⁹⁰ Sr	8.7·10 ⁵	²³⁵ U	1.5·10 ⁴
⁹⁵ Zr	1.8·10 ⁷	²³⁸ U	1.6·10 ⁴
¹⁰⁶ Ru	1.7·10 ⁶	²³⁷ Np	2.1·10 ⁴
^{110m} Ag	8.2·10 ⁶	²³⁸ Pu ¹⁾	1.0·10 ⁴
¹²⁴ Sb	1.5·10 ⁷	²³⁹ Pu ¹⁾	1.1·10 ⁴
¹²⁵ Sb	2.2·10 ⁷	²⁴⁰ Pu ¹⁾	1.1·10 ⁴
¹²⁵ I	5.8·10 ⁶	²⁴¹ Am ¹⁾	1.3·10 ⁴
¹²⁹ I	8.8·10 ⁵	²⁴² Cm	2.5·10 ⁴
¹³¹ I	4.5·10 ⁶	²⁴⁴ Cm	1.5·10 ⁴

¹⁾ Не применяется в случае раневого поступления альфа-излучающих изотопов.

[1] Not applicable in case of wound entry of alpha-emitting isotopes].

³ Гигиенический норматив Республики Беларусь «Критерии оценки радиационного воздействия» от 28.12.2012 г. № 213 [Hygienic standard of the Republic of Belarus «Criteria for radiation exposure assessing» dated 28.12.2012 No. 213 (In Russ.)]

⁴ СанПиН Республики Беларусь «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций» от 31.03.2010 г. № 39 [Sanitary Regulations and Standards of the Republic of Belarus «Hygienic requirements for the design and operation of nuclear power plants» dated 31.03.2010 No. 39 (In Russ.)]

Общеизвестно, что почти во всех аварийных ситуациях в лучшем случае постоянно проводился лишь контроль дозы внешнего проникающего излучения с применением дозиметров. Дозы от поступления в организм или от загрязнения кожи не оценивались, а только ограничивались путём использования индивидуальных средств защиты органов дыхания и кожных покровов, йодной профилактикой и контролем проведения работ на радиационно опасных участках. Информация о радиационной обстановке использовалась при принятии решений о выборе средств защиты и продолжительности работы в аварийной зоне.

При медицинском реагировании на радиологические аварии должны применяться заранее установленные национальные критерии. Национальная стратегия радиационной защиты в Республике Беларусь начала формироваться значительно позже других стран. В Российской Федерации ещё в 1945 г. организована первая радиологическая лаборатория в Научно-исследовательском институте гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН СССР, специализированные лаборатории при Институте биофизики МЗ СССР, а в 1956 г. основан Ленинградский научно-исследовательский институт радиационной гигиены. В Республике Беларусь только в 2000-е гг. создан Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека, а в НПЦ гигиены – лаборатория радиационной безопасности.

Вводятся в эксплуатацию энергоблоки первой Белорусской АЭС. Персонал станции подвергается рискам аварийного и незапланированного облучения. Однако в Беларуси нет организаций, имеющих опыт медицинского реагирования на радиологические аварийные ситуации – такой, как у ФГБУ «Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, ФГБУ «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита»» МЗ РФ, ФГБУЗ «Клиническая больница № 122 им. Л.Г. Соколова» (Санкт-Петербург), ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова» МЧС России. В Республике Беларусь на уровне территориальных лечебно-профилактических учреждений и многопрофильных больниц, медицинских центров и госпиталей врачебный и средний медицинский персонал не имеет достаточных знаний и опыта диагностики и лечения лучевых поражений.

Проведённые исследования были направлены на изучение международного опыта применения критериев медицинского реагирования в случае радиационной аварии. Однако международные документы и рекомендации носят достаточно общий характер, а результаты практического применения не приводятся. Значительная часть информационных и научно-методических материалов об организации и проведении санитарно-гигиенических и лечебных мероприятий при радиационных авариях недоступна в открытой печати. В данных условиях было предложено принять в качестве национальных критерии медицинского реагирования, рекомендуемые МАГАТЭ и рядом других международных организаций-соавторов.

Заключение

Опыт эксплуатации атомных электростанций показывает, что последствия аварий могли быть сниже-

ны за счет эффективного медицинского реагирования. Обеспечению готовности к медицинскому реагированию на радиологические аварийные ситуации придаётся особое значение.

Белорусская АЭС является первым объектом использования атомной энергии в стране. Опыта лечения радиационных поражений в Беларуси нет. Задача обеспечения готовности к приему и специализированному лечению лиц, подвергшихся аварийному или незапланированному облучению, ставится перед национальным здравоохранением впервые.

В результате анализа публикаций международных организаций выбраны критерии радиационного воздействия, которые могут быть применены в условиях белорусских специализированных медицинских учреждений. Проведена их оценка с учётом действующих национальных технических нормативных правовых актов и имеющихся возможностей у участников аварийного реагирования. Для учета качества излучения применительно к детерминированным эффектам принято использовать единицу измерения «Грей-эквивалент».

Критерии включают как дозиметрические величины для случаев внешнего и внутреннего аварийного и незапланированного облучения, так и уровни поступления радиоактивных веществ с неизвестными физико-химическими свойствами в организм, при которых необходимо немедленное медицинское наблюдение. Критерии для случаев поверхностного загрязнения кожных покровов и ран радионуклидами в статье не обсуждались и требуют отдельного рассмотрения.

Литература

1. Общие процедуры медицинского реагирования при ядерной или радиологической аварийной ситуации. Серия «Аварийная готовность и реагирование», IAEA-EPR-MEDICAL. Вена: МАГАТЭ, 2009. 327 с.
2. Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Общее руководство по безопасности GSG-2. Вена: МАГАТЭ, 2012. 132 с.
3. Буздалкин К.Н., Власова Н.Г. Проблемы оценки доз аварийного облучения оперативного персонала АЭС // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. 2020. № 2(24). С. 125–130.
4. Буздалкин К.Н., Власова Н.Г., Рожко А.В., Бортновский В.Н. Оценка доз облучения при медицинском реагировании на радиологические аварии в Республике Беларусь // Сб. научн. статей Респ. научн.-практ. конф. Гомель: ГГМУ. 2020. № 21, т. 2. С. 135–138.
5. Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria: Interim Report for Comment, IAEA-TECDOC-1432. Vienna: IAEA, 2005. 108 p.
6. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности GSR-3. Вена: МАГАТЭ; 2015. 520 с.
7. International commission on radiological protection. Relative Biological Effectiveness (RBE), Quality Factor (Q) and Radiation Weighting Factor (wR), Publication 92. Oxford and New York: Pergamon Press, 2003. 122 p.
8. Medical management of persons internally contaminated with radionuclides in a nuclear or radiological emergency. A manual for medical personnel. Vienna: IAEA, 2018. 119 p.

Поступила: 01.11.2020 г.

Буздалкин Константин Николаевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной защиты Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

Власова Наталия Генриховна – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией радиационной защиты Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

Рожко Александр Валентинович – доктор медицинских наук, доцент, директор Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

Бортновский Владимир Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой общей гигиены, экологии и радиационной медицины Гомельского государственного медицинского университета. **Адрес для переписки:** ул. Ланге 5, Гомель, 246000, Беларусь; E-mail: kafog2@mail.ru

Для цитирования: Буздалкин К.Н., Власова Н.Г., Рожко А.В., Бортновский В.Н. Критерии медицинского реагирования на радиологические аварии в Республике Беларусь // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 48–55. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-48-55

Criteria of medical response to radiological emergencies in the Republic of Belarus

Constantin N. Buzdalkin¹, Natalia G. Vlasova¹, Alexander V. Rozhko¹, Vladimir N. Bortnovsky²

¹The Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology of the Ministry of health of the Republic of Belarus, Gomel, Belarus

²Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

The Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology in the Internal and External Emergency Plans of the Belarusian nuclear power plant is specified as an institution that provides specialized treatment for personnel, as well as persons from the population living in the emergency zone of the station. The plant is the first facility in the Republic that used nuclear energy. There is no experience in treating radiation injuries in Belarus. This is the first time that the National Health Service has been assigned the task of ensuring readiness for the reception and specialized treatment of people who have been exposed to emergency or unplanned radiation. The purpose of the work is to establish criteria for radiation exposure for use in a Belarusian specialized medical institution in case of medical response to radiological accidents. As a result of the analysis of publications of international organizations, the criteria of radiation exposure that can be applied in the conditions of Belarusian specialized medical institutions were selected. Assessment of the criteria was made taking into account existing national technical regulations and the available capabilities of emergency response participants. To account for the quality of radiation in relation to deterministic effects "Gy-equivalent" is used. The criteria include both dosimetric values for cases of external and internal accidental and unplanned exposure, and levels of radioactive substances with unknown physical and chemical properties entering the body that require urgent medical intervention. Criteria for cases of surface contamination of skin and wounds require separate consideration.

Key words: radiological accident, radiation exposure, medical response, criterion.

References

1. General medical response procedures for a nuclear or radiological emergency. Emergency preparedness and response series, IAEA-EPR-MEDICAL. Vienna: IAEA; 2009. 327 p. (In Russian).
2. Criteria for use in providing preparedness and response in the event of a nuclear or radiological emergency. General safety guide GSG-2. Vienna: IAEA; 2012. 132 p. (In Russian).
3. Buzdalkin KN, Vlasova NG. Problems emergency radiation doses estimation. *Medical and Biological problems of Life Activity*. 2020; 2(24): 125–130. (In Russian).

Vladimir N. Bortnovsky

Gomel State Medical University

Address for correspondence: Lange str., 5, Gomel, 246000, Belarus; E-mail: kafog2@mail.ru

4. Buzdalkin KN, Vlasova NG, Rozhko AV, Bortnovsky VN. Assessment of radiation doses in medical response to radiological accidents in the Republic of Belarus. *Collection of scientific articles of the Republican scientific and practical conference*. Gomel: GSMU. 2020; 21(2): 135–138. (In Russian).
5. Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria: Interim Report for Comment, IAEA-TECDOC-1432. Vienna: IAEA; 2005. 108 p.
6. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. General safety requirements GSR-3. Vienna: IAEA; 2015. 520 p. (In Russian).
7. International commission on radiological protection. Relative Biological Effectiveness (RBE), Quality Factor (Q) and Radiation Weighting Factor (wR), Publication 92. Oxford and New York: Pergamon Press; 2003. 122 p.
8. Medical management of persons internally contaminated with radionuclides in a nuclear or radiological emergency. A manual for medical personnel. Vienna: IAEA; 2018. 119 p.

Received: November 07, 2020

Constantin N. Buzdalkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Radiation Protection Laboratory, The Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology of the Ministry of Health of the Republic of Belarus, Gomel, Belarus

Natalia G. Vlasova – Doctor of biological Sciences, Professor, Head of the Radiation Protection Laboratory, The Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology of the Ministry of health of the Republic of Belarus, Gomel, Belarus

Alexander V. Rozhko – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Director of the Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology of the Ministry of Health of the Republic of Belarus, Gomel, Belarus

For correspondence: Vladimir N. Bortnovsky – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of General Hygiene, Ecology and Radiation Medicine, Gomel State Medical University (Lange str., 5, Gomel, 246000, Belarus; E-mail: kafog2@mail.ru)

For citation: Buzdalkin C.N., Vlasova N.G., Rozhko A.V., Bortnovsky V.N. Criteria of medical response to radiological emergencies in the Republic of Belarus. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 4, No. 2. P. 48-55. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-48-55

Валидация метода определения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на огородах с использованием портативного спектрометра-дозиметра МКС АТ6101Д *in situ*

В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский, А.А. Братилова

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

*Отбор представительных проб почвы на обследуемом участке территории и последующее определение содержания радионуклидов в этих пробах в условиях лаборатории (так называемый метод *ex situ*) является общепризнанной технологией определения плотности загрязнения ^{137}Cs территории населенных пунктов. В последнее время в качестве дополнения или альтернативы методу *ex situ* все чаще применяют методы полевой (*in situ*) гамма-спектрометрии. В этом случае можно определить плотность загрязнения почвы ^{137}Cs непосредственно на месте, без отбора проб и их анализа в лаборатории. Вместе с тем, методология *in situ* имеет ряд ограничений, из которых наиболее принципиальным является отсутствие общепризнанного метрологического обеспечения проведения измерений и интерпретации результатов. Поэтому перед применением конкретной методики и измерительного устройства для проведения широкомасштабных измерений *in situ* необходимо проводить валидацию (оценку пригодности) выбранного метода в планируемых условиях проведения измерений с помощью устоявшегося метода *ex situ*. Целью данного исследования являлась валидация метода определения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на огородах с использованием спектрометра-дозиметра МКС АТ6101Д *in situ*. Этот метод был недавно представлен российско-шведско-белорусской группой исследователей в статье, опубликованной в Journal of Environmental Radioactivity (<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106562>). Для тестирования метода нами были использованы 10 представительных огородных участков, расположенных в 6 населенных пунктах Брянской области. Территория населенных пунктов была сильно загрязнена ^{137}Cs в результате аварии на Чернобыльской АЭС: официально установленная плотность цезиевого загрязнения в 2017 г. находилась в диапазоне 111–511 кБк/м². Для набора полевого спектра прибор МКС АТ6101Д размещали в центре выбранного участка на алюминиевой треноге. Продолжительность измерения варьировала от 1207 до 1801 с (среднее значение 1383 с). Пробы огородной почвы были отобраны послойно (с шагом ~5 см) до глубины 20 см с использованием цилиндрического разборного пробоотборника. В лаборатории с помощью стационарного полупроводникового гамма-спектрометра было определено содержание ^{137}Cs в каждом слое почвы, объединенном для всех отобранных на участке проб, и вычислено значение плотности загрязнения почвы ^{137}Cs для суммы всех отобранных слоев. Эти значения плотности загрязнения, полученные *ex situ*, находились в диапазоне от 77 до 548 кБк/м². Установлено, что результаты лабораторных анализов проб почвы хорошо согласуются со значениями плотности загрязнения, полученными с помощью тестируемого метода *in situ*. В среднем различия между двумя методологиями составили 7% (20% в максимуме). Результаты исследования подтверждают, что метод, предложенный международной группой, пригоден для определения плотности загрязнения огородной почвы ^{137}Cs на отдаленном этапе после Чернобыльской аварии.*

Ключевые слова: ^{137}Cs , почва, плотность загрязнения, огород, метод *in situ*, валидация.

Введение

Одной из основных целей радиационно-гигиенического мониторинга на территориях Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению после Чернобыльской аварии, является оценка доз внешнего и внутреннего облучения человека. В значительной степени расчеты доз базируются на данных о плотности

загрязнения почвы ^{137}Cs (A_{Cs} , размерность: кБк/м² или Ки/км²), устанавливаемой Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) для каждого населенного пункта (НП) на текущий год [1–3]. При этом речь идет о среднем значении A_{Cs} для всей территории НП. Однако при выполнении радиационно-гигиенического обследования конкрет-

Рамзаев Валерий Павлович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

ного НП мониторинг радиационной обстановки (в частности, измерения мощности AMBIENTного эквивалента дозы (МАЭД, Зв/ч) проводится, как правило, выборочно на ограниченном числе частных подворий. Плотность загрязнения почвы на конкретном подворье в каком-либо НП может совпадать со средним значением A_{Cs} для данного НП, но может и значительно отличаться от такового. В частности, по обобщенным данным обследований НП Брянской области России в первые послеаварийные годы [4] в некоторых НП наблюдались более чем десятикратные различия между минимальным и максимальным значениями A_{Cs} . Обследования огородов (по 8–10 подворий в каждом из 10 НП), выполненные в 1995–1997 гг. в Брянской области, также показали существенную неоднородность цезиевого загрязнения внутри отдельно взятого НП: в среднем коэффициент вариации значений A_{Cs} равнялся 26% (36% в максимуме) [5]. По результатам измерений Е.К. Ниловой и др. [6], проводивших обследования в городском поселке Брагин (Гомельская область, Беларусь) в 2018 г., можно видеть более чем пятикратную разницу между максимумом и минимумом плотности загрязнения ^{137}Cs почвы на различных огородах ($n = 12$).

В условиях столь выраженной неравномерности распределения загрязнения по территории НП имеет смысл проводить измерения МАЭД параллельно с определением A_{Cs} непосредственно на обследуемом подворье. Это позволяет получить более устойчивые и экспериментально обоснованные значения техногенной МАЭД, нормализованной на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs (Зв/ч)/(кБк/м²). Ранее этот комплексный подход был использован при вычислении не только нормализованной мощности дозы гамма-излучения в воздухе в типичных локациях внутри НП, но и нормализованной дозы внешнего облучения различных групп населения, проживающего в сельской местности [7].

Наиболее сложным и трудоемким элементом данной комплексной методологии является отбор представительных проб почвы на обследуемом участке и последующее количественное определение содержания техногенных и природных радионуклидов в этих пробах в условиях лаборатории (так называемый метод *ex situ* [8, 9]). Однако в последнее время в качестве альтернативы методу *ex situ* все чаще применяют методы полевой (*in situ*) гамма-спектрометрии [10], которые позволяют измерить A_{Cs} непосредственно на месте, без отбора почвенных проб и их последующего анализа в лаборатории [11–15]. Одним из достоинств методологии определения A_{Cs} *in situ* является возможность проведения сравнительно большого количества измерений за ограниченное время. В свою очередь, это делает возможным получение подробного представления о пространственном распределении радионуклида по выбранному участку территории [15]. Вместе с тем, методология *in situ* имеет ряд ограничений, из которых наиболее принципиальным является отсутствие общепризнанного метрологического обеспечения проведения измерений и интерпретации результатов. В связи с этим перед применением конкретной методики и измерительного устройства для проведения широкомасштабных измерений *in situ* необходимо проводить валидацию (оценку пригодности) выбранного метода в

планируемых условиях проведения обследований с помощью устоявшегося метода *ex situ* [16].

Одним из современных измерительных приборов, которые потенциально могут быть использованы для определения A_{Cs} *in situ*, является спектрометр-дозиметр МКС АТ6101Д (производитель АТОМТЕХ, Беларусь) [17]. В 2015–2019 гг. этот прибор активно применялся ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева (в кооперации с лабораториями из Лундского университета Швеции и Института радиобиологии Академии наук Беларуси) для измерений МАЭД и определения содержания природных радионуклидов в почве на радиоактивно загрязненных и контрольных (условно «чистых») территориях России и Беларуси [18–22]. Недавно международная группа исследователей [16] разработала и верифицировала эмпирический метод для определения A_{Cs} в почве *in situ* на открытых земляных участках (луга и культивируемые земли) и в лесах с использованием МКС АТ6101Д. Разработанный метод (ниже по тексту «метод BUFCs») основан на оценке фактора накопления [англ., build-up factor (BUF)] AMBIENTного эквивалента дозы от ^{137}Cs .

Летом 2020 г. МКС АТ6101Д был применен нами при проведении мониторинговых обследований (измерения МАЭД) НП Брянской области в рамках выполнения «Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС (2019–2022)» [<http://www.postkomsg.com/programs/>]. На этапе планирования этих радиационно-гигиенических обследований было принято решение об использовании МКС АТ6101Д не только для измерений МАЭД, но и для определения A_{Cs} на огородах. Такие участки культивируемой земли в настоящее время можно обнаружить внутри любого жилого сельского НП, а также в городах Брянской области. В этом отношении огород может являться вполне подходящей референтной локацией для определения A_{Cs} в НП на отдаленном этапе радиационной аварии.

Цель исследования – определение пригодности метода BUFCs для определения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на огородах с использованием спектрометра-дозиметра МКС АТ6101Д *in situ*.

Материалы и методы

Для валидации метода BUFCs мы выбрали 10 огородных участков, расположенных в НП, различающихся по официально установленному среднему значению плотности загрязнения почвы ^{137}Cs (A_{Cs-off}): Колюды (3,0 Ки/км²), Кургановка (3,2 Ки/км²), Красная Гора (4,1 Ки/км²), Карпиловка (8,0 Ки/км²), Денисковичи (9,5 Ки/км²), Злынка (13,8 Ки/км²). Значения плотности даны Росгидрометом на 01.01.2017 г. [2].

Обследования на огородных участках были проведены в период 3–7 августа 2020 г. К этому времени значения плотности загрязнения, приведенные выше, уменьшились за счет радиоактивного распада ^{137}Cs на 8%. Пересчитанные на 5 августа 2020 г. и переведенные в современные единицы измерения (кБк/м²) средние значения A_{Cs-off} приведены в таблице 1.

Таблица 1

Официально установленные значения средней плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ($A_{\text{Cs-off}}$) в 6 обследованных населенных пунктах, и значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , определенные по результатам измерений *ex situ* ($A_{\text{Cs-ex-situ}}$) и *in situ* ($A_{\text{Cs-in-situ}}$) на 10 огородных участках

[Table 1]

Officially given average values of soil contamination density with ^{137}Cs ($A_{\text{Cs-off}}$) in the six surveyed settlements, and the values of the soil contamination density by ^{137}Cs determined with the *ex situ* ($A_{\text{Cs-ex-situ}}$) and *in situ* ($A_{\text{Cs-in-situ}}$) methods at the 10 kitchen garden plots]

Населенный пункт [Settlement]	Код участка [Plot code]	Значение плотности загрязнения почвы (кБк/м ²) [Values of soil contamination density (kBq/m ²)]			Отношение значений плотностей [Ratio of the density values]		
		$A_{\text{Cs-off}}$	$A_{\text{Cs-ex-situ}}$	$A_{\text{Cs-in-situ}}$	$A_{\text{Cs-ex-situ}} / A_{\text{Cs-off}}$	$A_{\text{Cs-in-situ}} / A_{\text{Cs-off}}$	$A_{\text{Cs-in-situ}} / A_{\text{Cs-ex-situ}}$
Колюды [Koludy]	Cen-18	102	76.6	74.4	0,75	0,73	0,97
Кургановка [Kurganovka]	Cen-59	109	99.3	119	0,91	1,09	1,20
Красная Гора [Krasnaya Gora]	Par-14	140	69.3	80.5	0,50	0,58	1,16
Карпиловка [Karpilovka]	Nov	272	226	214	0,83	0,79	0,95
Денисовичи [Deniscovich]	Per-9	324	258	282	0,80	0,87	1,09
Денисовичи [Deniscovich]	Per-11	324	260	271	0,80	0,84	1,04
Злынка [Zlynka]	Kir-96	470	490	506	1,04	1,08	1,03
Злынка [Zlynka]	Oct-66	470	546	645	1,16	1,37	1,18
Злынка [Zlynka]	Kom-120	470	407	454	0,87	0,97	1,12
Злынка [Zlynka]	Vok-1	470	548	512	1,17	1,09	0,93
Медиана [Median]					0,85	0,92	1,07
Средняя [Mean]					0,88	0,94	1,07
Стандартное отклонение [Standard deviation]					0,20	0,23	0,10

Перед выполнением измерений мы выбирали ровную горизонтальную площадку размером приблизительно 10 м × 10 м. К моменту наших обследований хозяева уже приступили к уборке урожая, поэтому на огородах, наряду с оголенной почвой, имелись места, покрытые живыми растениями и остатками убранных растений (рис. 1). При выборе площадки учитывалась однородность гамма-поля в воздухе. Для изучения этого показателя в 5–6 точках (в углах и в центре площадки) на высоте 50–60 см были проведены экспресс-измерения МАЭД с использованием МКС АТ6101Д. Площадка считалась пригодной для дальнейшего обследования в том случае, если разница между максимальным и минимальным значениями МАЭД не превышала 15%. Эта величина укладывалась в пределы вариабельности показателя МАЭД на площадках, использованных для разработки метода BUFCs [20, 21].

Для регистрации полевого спектра прибор МКС АТ6101Д размещали в центре выбранной площадки на алюминиевой треноге. Блок детектирования вывешивали вертикально кристаллом NaI(Tl) вниз (см. рис. 1). Расстояние между эффективным центром кристалла и поверхность почвы было равно 1 м. Продолжительность набора спектра находилась в диапазоне 1207–1801 с (среднее значение = 1383 с). Набранный спектр записывали в память прибора. Обработку спектров и последующие вычисления значений плотности загрязнения почвы ^{137}Cs *in situ* ($A_{\text{Cs-in-situ}}$, кБк/м²) проводили на портативном компьютере с установленной программой ATAS Lite (ATOMTEX) по следующему алгоритму [16]:



Рис. 1. Расположение спектрометра-дозиметра МКС АТ6101Д на треноге во время проведения полевых измерений на огородных участках; населенный пункт Злынка, 3 августа 2020 г.
[Fig. 1. Placement of the MKS AT6101D spectrometer-dosimeter on a tripod during field measurements in kitchen gardens; the settlement Zlynka, 3 August 2020]

1, Используя возможности программы ATAS Lite, определяли значения 3 следующих основных показателей: общая мощность амбиентного эквивалента дозы ($ADER$, нЗв/ч), эффективная удельная активность природных (терригенных) радионуклидов (AC_{eff} , Бк/кг), ско-

рость счета импульсов в пике полного поглощения гамма-квантов с энергией 662 кэВ (PAR_{662} , импульс/с).

2. Значение мощности амбиентного эквивалента дозы от природных радионуклидов ($ADER_{TRN}$, нЗв/ч) вычисляли по формуле:

$$ADER_{TRN} = CC_{eff} \times AC_{eff}, \quad (1)$$

где CC_{eff} – коэффициент конверсии (нЗв/ч)/(Бк/кг); численно этот коэффициент равен 0,51 для нашего спектрометра-дозиметра АТ6101Д [18].

3. Полную мощность амбиентного эквивалента дозы от ^{137}Cs ($ADER_{Cs-tot}$, нЗв/ч) вычисляли по формуле:

$$ADER_{Cs-tot} = ADER - ADER_{TRN} - DR_0, \quad (2)$$

где $ADER$ (нЗв/ч) – общая мощность амбиентного эквивалента дозы (показания прибора) на участке; $ADER_{TRN}$ (нЗв/ч) – мощность амбиентного эквивалента дозы от природных (терригенных) радионуклидов на участке; DR_0 – собственный фон прибора и вклад от космического излучения. Значение этой компоненты принято равным 8 нЗв/ч [19].

4. Для вычисления значения мощности амбиентного эквивалента дозы от первичных (нерассеянных) фотонов с энергией 662 кэВ от ^{137}Cs – ^{137m}Ba , ($ADER_{Cs-prim}$, нЗв/ч) использовали формулу:

$$ADER_{Cs-prim} = PAR_{662} \times CC_{prim}, \quad (3)$$

где CC_{prim} – коэффициент преобразования скорости счета в пике полного поглощения (PAR_{662} , импульс/с) в мощность амбиентного эквивалента дозы. Значение этого коэффициента для нашего прибора равно 1,25 (нЗв/ч)/(импульс/с) [19].

5. Фактор накопления амбиентного эквивалента дозы (BUF_{Cs} , безразмерная величина) вычисляли по формуле:

$$BUF_{Cs} = \frac{ADER_{Cs-tot}}{ADER_{Cs-prim}}, \quad (4)$$

6. Для вычисления коэффициента преобразования $ADER_{Cs-prim}$ в $A_{Cs-in-situ}$ применяли формулу, выведенную в работе [16]:

$$CC_{BUF} = a \times \exp(b \times BUF_{Cs}), \quad (5)$$

где CC_{BUF} [(кБк/м²)/(нЗв/ч)] – коэффициент преобразования $ADER_{Cs-prim}$ (нЗв/ч) в $A_{Cs-in-situ}$ (кБк/м²); a – эмпирический коэффициент, равный 0,099 [(кБк/м²)/(нЗв/ч)]; b – эмпирический коэффициент, равный 1,437 (безразмерная величина); BUF_{Cs} – безразмерная переменная.

7. Для вычисления $A_{Cs-in-situ}$ использовали выражение:

$$A_{Cs-in-situ} = ADER_{Cs-prim} \times CC_{BUF}, \quad (6)$$

Одновременно с проведением гамма-спектрометрического исследования на огородных участках был выполнен отбор проб почвы. Взятие проб было осуществлено с помощью разборного цилиндрического пробоотборника с площадью поперечного сечения 20 см². На каждом участке было отобрано по 5 кернов до глубины 20 см: 4 прокола по углам выбранной площадки и 1 прокол в центре. Керны почвы делили на горизонтальные слои толщиной ~5 см. Материал от каждого слоя (всего 4 слоя) всех кернов помещали в полиэтиле-

новые пакеты и взвешивали для определения влажного веса образцов.

Измерение активности ^{137}Cs в пробах проводили в лабораторных условиях (*ex situ*) с помощью электроохлаждаемого полупроводникового гамма-спектрометра с детектором из особо чистого германия TSP-DX-100T-PAC-PKG-1 фирмы ORTEC (США). Во время проведения измерений спектрометр со счетным образцом размещали внутри защитной камеры, имеющей стальные стенки толщиной 20 см. Общая неопределенность измерения активности ^{137}Cs не превышала 12% (95% вероятность). По результатам измерений активности радионуклида в образцах, а также на основании измеренного веса каждого образца и площади поперечного сечения керна были вычислены основные радиометрические показатели: 1) удельная активность ^{137}Cs в каждом из слоев почвы (УА, Бк/кг на влажный вес); 2) плотность загрязнения ^{137}Cs для каждого слоя и для суммы всех 4 слоев почвы ($A_{Cs-ex-situ}$, кБк/м²).

Результаты и обсуждение

Значения $ADER$ находились в диапазоне от 93 до 357 нЗв/ч (табл. 2). От 47 до 92% этой величины (в среднем 75%) приходилось на компоненту, обусловленную ^{137}Cs ($ADER_{Cs-tot}$). Основной вклад в техногенную компоненту вносило рассеянное излучение; доля дозы от первичных гамма-квантов с энергией 662 кэВ от ^{137}Cs – ^{137m}Ba ($ADER_{Cs-prim}$) в $ADER_{Cs-tot}$ мало варьировала от 35 до 38% (в среднем 37%). Эти значения соответствуют критерию отнесения открытых земляных участков к категории культивированных почв [23].

Вычисленные значения BUF_{Cs} находились в сравнительно узком диапазоне 2,58–2,86 (средняя = 2,70).

Удельная активность ^{137}Cs в пробах почвы демонстрировала достаточно широкий размах значений: от 200 до 1930 Бк/кг (табл. 3). Этот разброс связан, прежде всего, с тем обстоятельством, что отбор проб был преднамеренно осуществлен на площадках, расположенных в НП с разными средними значениями плотности загрязнения почвы ^{137}Cs . Однако, наряду с выраженными различиями между отдельными площадками по абсолютным значениям УА, на некоторых участках отмечалось еще и неравномерное распределение ^{137}Cs по вертикали (см. табл. 3). В среднем по всем 10 огородам УА в нижнем слое (глубина 15–20 см) была на 15% меньше, чем таковая в самом верхнем слое (0–5 см). Полученные нами распределения УА по вертикали в слое почвы толщиной 20 см в целом соответствовали типичному распределению УА ^{137}Cs в почве 22 огородов, обследованных в 1996–2001 гг. в радиоактивно загрязненных районах Брянской области [7].

По данным лабораторных исследований, плотность загрязнения огородной почвы ^{137}Cs ($A_{Cs-ex-situ}$) находилась в диапазоне от 77 до 548 кБк/м². Как видно из таблицы 1, эти значения удовлетворительно сходятся с официальными данными о плотности загрязнения почвы ^{137}Cs (A_{Cs-off}) в обследованных НП. В среднем $A_{Cs-ex-situ}$ была на 12% меньше, чем A_{Cs-off} . Отметим, однако, что эту величину различий (как, впрочем, и направленность различий) следует рассматривать в качестве первого приближения, т.к. количество проб, отобранных в каждом из НП (от 1 до 4), да и само количество НП (6), было явно недостаточно для более определенных и статистически обоснованных выкладок.

Таблица 2

Мощность AMBIENTного эквивалента дозы от всех источников (ADER), от терригенных радионуклидов (ADER_{TRN}), от нерассеянных гамма-квантов с энергией 662 кэВ (ADER_{Cs-prim}), от суммы рассеянных и нерассеянных гамма-квантов от ¹³⁷Cs+^{137m}Ba (ADER_{Cs-tot}), вклад (%) ADER_{Cs-prim} в ADER_{Cs-tot} и фактор дозового накопления (BUF_{Cs}) на огородных участках, обследованных в Брянской области в 2020 г.

[Table 2]

Ambient dose equivalent rate from all sources (ADER), from terrestrial radionuclides (ADER_{TRN}), from the 662 keV primary photons (ADER_{Cs-prim}), from the sum of the primary and scattered photons of ¹³⁷Cs+^{137m}Ba (ADER_{Cs-tot}), input (%) of ADER_{Cs-prim} to ADER_{Cs-tot} and dose build up factor (BUF_{Cs}) at the kitchen garden plots surveyed in the Bryansk region in 2020]

Населенный пункт [Settlement]	Код участка [Plot code]	ADER (нЗв/ч) [(nSv/h)]	ADER _{TRN} (нЗв/ч) [(nSv/h)]	ADER _{Cs-prim} (нЗв/ч) [(nSv/h)]	ADER _{Cs-tot} (нЗв/ч) [(nSv/h)]	Вклад ADER _{Cs-prim} в ADER _{Cs-tot} (%) [Input of ADER _{Cs-prim} to ADER _{Cs-tot} (%)]	BUF _{Cs}
Колюды [Koludy]	Cen-18	93,4	41,8	16,4	43,6	38	2,66
Кургановка [Kurganovka]	Cen-59	108	39,2	21,6	60,6	36	2,80
Красная Гора [Krasnaya Gora]	Par-14	93,3	39,0	17,3	46,3	37	2,68
Карпиловка [Karpilovka]	Nov	172	29,3	52,2	135	39	2,58
Денисковичи [Deniscovich]	Per-9	181	38,6	47,0	134	35	2,86
Денисковичи [Deniscovich]	Per-11	203	37,8	58,8	157	37	2,68
Злынка [Zlynka]	Kir-96	318	24,7	106	285	37	2,70
Злынка [Zlynka]	Oct-66	357	18,6	118	330	36	2,79
Злынка [Zlynka]	Kom-120	293	17,9	100	267	38	2,66
Злынка [Zlynka]	Vok-1	345	20,2	121	317	38	2,61

Статистическая неопределенность (при 95% вероятности) измерения ADER была менее 2%; для ADER_{TRN} эта неопределенность находилась в диапазоне 5–8% (средняя = 6%), для ADER_{Cs-prim} – в диапазоне 2–6% (средняя = 3%), для ADER_{Cs-tot} – в диапазоне 2–9% (средняя = 4%).

[The statistical uncertainty (at 95% probability) of ADER measurement was less than 2%; for ADER_{TRN}, this uncertainty was in the range of 5–8% (mean = 6%); for ADER_{Cs-prim}, it was in the range of 2–6% (mean = 3%); for ADER_{Cs-tot}, it was in the range of 2–9% (mean = 4%).]

Таблица 3

Удельная активность ¹³⁷Cs (Бк/кг на сырой вес) и относительная удельная активность ¹³⁷Cs (удельная активность в слое 0–5 см взята за единицу) в пробах огородной почвы, отобранной в Брянской области в 2020 г.

[Table 3]

Activity concentration of ¹³⁷Cs (Bq/kg, wet weight) and the relative activity concentration of ¹³⁷Cs (the activity concentration in the 0–5 cm layer is taken as unity) in the kitchen garden soil samples collected in the Bryansk region in 2020]

Населенный пункт [Settlement]	Код участка [Plot code]	Удельная активность (Бк/кг)* [Activity concentration (Bq/kg)*]				Относительная удельная активность [Relative activity concentration]			
		0–5 см [0–5 cm]	5–10 см [5–10 cm]	10–15 см [10–15 cm]	15–20 см [15–20 cm]	0–5 см [0–5 cm]	5–10 см [5–10 cm]	10–15 см [10–15 cm]	15–20 см [15–20 cm]
Колюды [Koludy]	Cen-18	271	266	267	199	1,00	0,98	0,99	0,74
Кургановка [Kurganovka]	Cen-59	334	346	321	322	1,00	1,04	0,96	0,96
Красная Гора [Krasnaya Gora]	Par-14	283	267	282	185	1,00	0,94	1,00	0,65
Карпиловка [Karpilovka]	Nov	828	759	748	636	1,00	0,92	0,90	0,77
Денисковичи [Deniscovich]	Per-9	799	762	713	757	1,00	0,95	0,89	0,95
Денисковичи [Deniscovich]	Per-11	911	878	839	886	1,00	0,96	0,92	0,97
Злынка [Zlynka]	Kir-96	1680	1630	1660	1490	1,00	0,97	0,99	0,89

Населенный пункт [Settlement]	Код участка [Plot code]	Удельная активность (Бк/кг)* [Activity concen- tration (Bq/kg)*]				Относительная удельная активность [Relative activity concentration]			
		0–5 см [0–5 cm]	5–10 см [5–10 cm]	10–15 см [10–15 cm]	15–20 см [15–20 cm]	0–5 см [0–5 cm]	5–10 см [5–10 cm]	10–15 см [10–15 cm]	15–20 см [15–20 cm]
Злынка [Zlynka]	Oct-66	1910	1920	1930	1820	1,00	1,01	1,01	0,95
Злынка [Zlynka]	Kom-120	1550	1450	1440	920	1,00	0,94	0,93	0,59
Злынка [Zlynka]	Vok-1	1800	1790	1870	1800	1,00	1,00	1,04	1,00
Медиана [Median]						1,00	0,97	0,97	0,92
Средняя [Mean]						1,00	0,97	0,96	0,85
Стандартное отклонение [Standard deviation]						0,00	0,04	0,05	0,15

* – статистическая неопределенность (при 95% вероятности) измерения удельной активности ^{137}Cs не превышала 3%.

[* – the statistical uncertainty (at 95% probability) of ^{137}Cs activity concentration measurements did not exceed 3%.]

По данным полевых измерений, значения $A_{\text{Cs-in-situ}}$ полученные с использованием метода BUFCs, находились в диапазоне от 74 до 645 кБк/м² (см. табл. 1). Среднее отношение $A_{\text{Cs-in-situ}}/A_{\text{Cs-off}}$ было равно 0,94 (диапазон 0,58–1,37). Разброс значений отношения $A_{\text{Cs-in-situ}}/A_{\text{Cs-ex-situ}}$ был существенно уже: 0,93–1,20, при средней величине 1,07. Некоторое превышение среднего значения отношения $A_{\text{Cs-in-situ}}/A_{\text{Cs-ex-situ}}$ над единицей можно было ожидать, т.к. для разработки и верификации метода BUFCs использовали керны почвы, отобранные как до глубины 20 см, так и до глубины 25 см [20, 21]. По данным Ramzaev et al. [20], слой почвы, полученный с глубины 20–25 см на двух огородах в Гомельской области в 2018 г., содержал около 6% общего запаса ^{137}Cs , находившегося в верхних 25 см почвы. Сходное среднее значение доли общего запаса ^{137}Cs для глубины 20–25 см (8%) можно вычислить по опубликованным результатам обследования [7], проведенного в 1996–2003 гг. на 22 огородах в Брянской области.

Небольшие различия между значениями A_{Cs} , полученными *in situ*, и значениями A_{Cs} , определенными по результатам анализа проб почвы, оказались статистически незначимыми (непараметрический тест Вилкоксона, $P > 0,05$). Вместе с тем, значения плотности загрязнения, определенные с использованием метода BUFCs и метода *ex situ*, хорошо коррелировали между собой: коэффициент ранговой корреляции Спирмена (R_{sp}) был равен 0,964 ($P < 0,01$). Графически соотношение между результатами, полученными с использованием двух методов, представлено на рисунке 2.

Метод BUFCs был разработан на основе анализа данных, полученных при обследовании участков со сравнительно высокими уровнями загрязнения почвы ^{137}Cs : 42–1940 кБк/м² (1,1–52,4 Ки/км²). Это является ограничением применения метода для территорий, не попадающих в зону радиоактивного загрязнения в связи с Чернобыльской аварией ($A_{\text{Cs}} < 1 \text{ Ки/км}^2$) [16]. Вместе с тем, было показано [16], что метод BUFCs может использоваться при самых разнообразных типах вертикального распределения ^{137}Cs в верхних 20–25 см почвы, например,

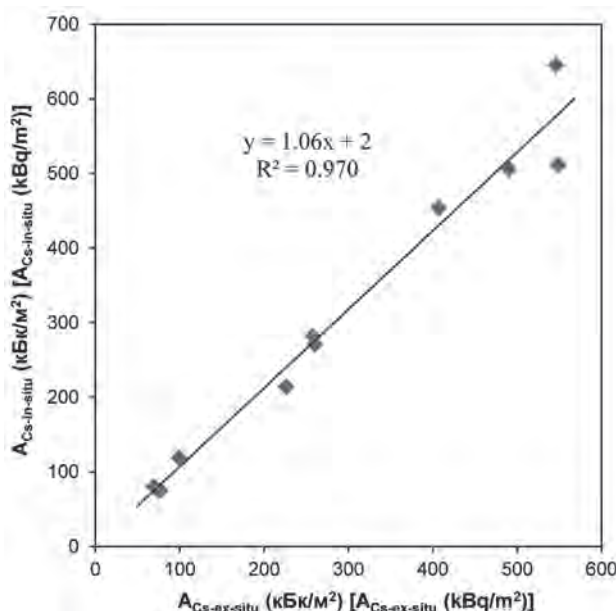


Рис. 2. Соотношение между значениями плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , определенными с помощью лабораторного анализа проб почвы ($A_{\text{Cs-ex-situ}}$) и с помощью спектрометра-дозиметра MKS AT6101D в полевых условиях ($A_{\text{Cs-in-situ}}$) для 10 огородных участков, которые были обследованных в Брянской области в 2020 г.

[Fig. 2. Relationship between the values of ^{137}Cs soil contamination density determined with laboratory analysis of soil samples ($A_{\text{Cs-ex-situ}}$) and with the spectrometer-dosimeter MKS AT6101D *in situ* ($A_{\text{Cs-in-situ}}$) for 10 kitchen garden plots surveyed in the Bryansk region in 2020]

в том случае, когда четкий максимум удельной активности ^{137}Cs находится в верхних 2 см или когда такой максимум расположен на глубине несколько сантиметров. Как подтвердило наше исследование, метод BUFCs применим и для культивированных почв, в которых отмечается весьма равномерное распределение ^{137}Cs в верхних 15 см.

Заключение

В работе был валидирован метод BUFCs, разработанный международной группой исследователей [16] для определения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ($A_{\text{Cs-in-situ}}$) *in situ* с использованием портативного спектрометра-дозиметра МКС АТ6101Д. Для определения пригодности метода при исследовании огородной почвы нами были выбраны 10 представительных участков, расположенных в 6 населенных пунктах Брянской области. Территория населенных пунктов была сильно загрязнена ^{137}Cs в результате аварии на ЧАЭС: официально установленная плотность цезиевого загрязнения в 2017 г. находилась в диапазоне 111–511 кБк/м². На огородах были отобраны пробы почвы до глубины 20 см. В лаборатории с помощью стационарного гамма-спектрометра было определено содержание ^{137}Cs в каждом слое почвы и вычислены значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ($A_{\text{Cs-ex-situ}}$).

Установлено, что полученные с помощью метода BUFCs значения $A_{\text{Cs-in-situ}}$ хорошо согласуются с результатами лабораторных анализов проб почвы и последующих вычислений $A_{\text{Cs-ex-situ}}$. Разброс значений отношения $A_{\text{Cs-in-situ}}/A_{\text{Cs-ex-situ}}$ находился в диапазоне 0,93–1,20 при средней величине 1,07.

Результаты исследования позволяют прийти к выводу о том, что метод, предложенный в работе [16], пригоден для определения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на огородах на отдаленном этапе после Чернобыльской аварии.

Благодарность

Авторы выражают благодарность А. Братилову за помощь, оказанную на этапе проведения полевых исследований.

Литература

- Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., и др. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2014 году жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов) // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 2. С. 32–128.
- Брук Г.Я., Романович И.К., Базюкин А.Б., и др. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2017 году жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов) // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 4. С. 73–78.
- Романович И.К., Брук Г.Я., Барковский А.Н., и др. Обоснование Концепции перевода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 1. С. 6–18.
- Орлов М.Ю., Сныков В.П., Бочков Л.П. Определение средней плотности загрязнения почвы ^{137}Cs // Атомная энергия. 1994. Т. 76, № 3. С. 212–217.
- Hille R., Hill P., Heinemann K., et al. Current development of the human and environmental contamination in the Bryansk–Gomel spot due to the Chernobyl accident // Radiation and Environmental Biophysics. 2000. Vol. 39. P. 99–109.
- Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., и др. Оценка современных уровней ^{241}Am и ^{137}Cs в почве, продуктах питания, доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов, прилегающих к зоне отселения Чернобыльской АЭС (на примере Брагинского района Гомельской области Беларуси) // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 25–37.
- Ramzaev V., Yonehara H., Hille R., et al. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003 // Journal of Environmental Radioactivity. 2006. Vol. 85. P. 205–227.
- Rostron P., Heathcote J.A., Ramsey M.H. Comparison between measurement methods for the characterisation of radioactively contaminated land. Workshop on Radiological Characterisation for Decommissioning, Nyköping, Sweden 17–19 April 2012.
- Rostron P.D., Heathcote J.A., Ramsey M.H. Comparison between *in situ* and *ex situ* gamma measurements on land areas within a decommissioning nuclear site: a case study at Dounreay // Journal of Radiological Protection. 2014. Vol. 34, No. 3. P. 495–508.
- ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements. Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ICRU report: No. 53. 1994. Bethesda, Maryland, USA.
- Tyler A.N., Sanderson D.C.W., Scott E.M. Estimating and accounting for ^{137}Cs source burial through *In situ* gamma spectrometry in salt marsh environments // Journal of Environmental Radioactivity. 1996. Vol. 33. P. 195–212.
- Chesnokov A.V., Govorun A.P., Fedin V.N., et al. Method and device to measure ^{137}Cs soil contamination in-situ // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 1999. Vol. 420. P. 336–344.
- Дровников В.В., Егоров М.В., Егоров Н.Ю., и др. *In situ* сцинтилляционный гамма-спектрометр с принципиально новыми возможностями. Некоторые результаты исследования содержания естественных и техногенных радионуклидов в грунте // АНПИ. 2011. Т. 64, № 1. С. 56–64.
- Mikami S., Sato S., Hoshida Y., et al. *In situ* gamma spectrometry intercomparison in Fukushima, Japan // Japanese Journal of Health Physics. 2015. Vol. 50, No. 3. P. 182–188.
- Varley A., Tyler A., Dowdall M., et al. An *in situ* method for the high resolution mapping of ^{137}Cs and estimation of vertical depth penetration in a highly contaminated environment // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 605–606. P. 957–966.
- Ramzaev V., Bernhardsson C., Dvornik A., et al. *In situ* determination of ^{137}Cs inventory in soil using a field-portable scintillation gamma spectrometer-dosimeter. Journal of Environmental Radioactivity. 2021. Vol. 231. P. 106562. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106562>.
- ATOMTEX. Спектрометр МКС-АТ6101Д. Электронный ре-супс: <https://atomtex.com/sites/default/files/datasheets/mks-at6101d.pdf> (Дата обращения: 12.09.2020).
- Ramzaev V., Barkovsky A., Bernhardsson C., Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ^{137}Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017. Vol. 10, No. 1. P. 18–29.
- Ramzaev V., Bernhardsson C., Barkovsky A., et al. A backpack γ -spectrometer for measurements of ambient dose equivalent rate, $H^*(10)$, from ^{137}Cs and from naturally occurring radiation: the importance of operator related attenuation // Radiation Measurements. 2017. Vol. 107. P. 14–22.
- Ramzaev V., Bernhardsson C., Dvornik A., et al. Calculation of the effective external dose rate to a person staying in the resettlement zone of the Vetka district of the Gomel region of Belarus based on *in situ* and *ex situ* assessments in 2016–2018 // Journal of Environmental Radioactivity. 2020. Vol. 214–215. P. 106168.

21. Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Корреляция между расчетными и измеренными значениями мощности дозы гамма-излучения в воздухе в лесах, загрязненных ^{137}Cs : отдаленный период после Чернобыльской аварии // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 37–46.
22. Bernhardtsson C., Stenström K.E., Mattsson S., et al. Zero point assessment of the radiation environment – examples of a program applied in Sweden (ESS) and in Belarus (Belnp). Proceedings of International Conference “Medical Physics 2019” 7 – 9 November 2019, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania. 2019. P. 85–88.
23. Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Метод идентификации участков целинных почв с помощью портативного гамма-спектрометра-дозиметра // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 123–128.

Поступила: 28.02.2021

Рамзаев Валерий Павлович – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории внешнего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

Барковский Анатолий Николаевич – руководитель Федерального радиологического центра, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Братилова Анжелика Анатольевна – научный сотрудник лаборатории внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А. Валидация метода определения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на огородах с использованием портативного спектрометра-дозиметра MKS AT6101D *in situ* // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 56–65. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-56-65

Validation of a method for *in situ* determination of ^{137}Cs soil contamination density in kitchen gardens using the portable spectrometer-dosimeter MKS AT6101D

Valery P. Ramzaev, Anatoly N. Barkovsky, Anzhelika A. Bratilova

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The collection of representative soil samples in the territory of settlements and subsequent measurements of the content of radionuclides in these samples under laboratory conditions (the so-called “ex situ method”) is a generally accepted technology for determining the density of soil contamination with ^{137}Cs in the populated areas contaminated due to the Chernobyl accident. Recently, as a supplement or alternative to the ex situ method, researchers are developing field (in situ) gamma-spectrometry methods. These methods allow determining the density of soil contamination with ^{137}Cs directly on site, without soil sampling and laboratory analysis. At the same time, the in situ methodology has several limitations, the most important of which is a lack of generally recognized metrological basis for measurements and interpretation of results. Hence, before using a particular technique and measuring device for carrying out large-scale in situ measurements, it is necessary to validate (to assess the suitability) of the selected in situ method using an established ex situ method. The aim of this study was to validate the method for determining the density of ^{137}Cs soil contamination in kitchen gardens using the MKS AT6101D spectrometer-dosimeter in situ. The method was recently presented by a Russian-Swedish-Belarusian group of researchers in an article published in the Journal of Environmental Radioactivity (<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106562>). To validate this method, we selected 10 representative kitchen garden plots. The plots were located in six settlements of the Bryansk region in Russia. The territory of the settlements had been heavily contaminated with ^{137}Cs as a result of the Chernobyl accident: the officially established levels of the density of soil contamination by ^{137}Cs ranged from 111 to 511 kBq/m²

Valery P. Ramzaev

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

in 2017. Field gamma-ray spectra were recorded at a height of 1 m above the ground in the center of kitchen garden plots using the MKS AT6101D device. The measurement duration was in the range of 1207–1801 s (the mean value = 1383 s). Samples of soil in the kitchen gardens were taken layer by layer (with a step of 5 cm) to a depth of 20 cm using a demountable cylindrical sampler. The ^{137}Cs content in each soil layer was determined in the laboratory using a stationary semiconductor gamma spectrometer. The values of the ^{137}Cs contamination density of the sampled soils ranged from 77 to 548 kBq/m². It was found that the results of the *ex situ* analyzes of soil samples were in a good agreement with the contamination density values obtained with the *in situ* method. On average, the difference between two methodologies was 7% (a maximum of 20%). The results of the study confirm that the method proposed by the international group is suitable for determining the density of soil contamination by ^{137}Cs in kitchen gardens in remote period after the Chernobyl accident.

Key words: ^{137}Cs , soil contamination density, kitchen garden, method *in situ*, validation.

References

1. Bruk GYa, Bazyukin AB, Bratilova AA, Vlasov AYu, Goncharova YuN, Gromov AV, et al. The average annual effective doses for the population in the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for zonation purposes), 2014. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(2): 32–128. (In Russian).
2. Bruk GYa, Romanovich IK, Bazyukin AB, Bratilova AA, Vlasov AYu, Gromov AV, et al. The average annual effective doses for the population in the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for zonation purposes), 2017. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(4): 73–78. (In Russian).
3. Romanovich IK, Bruk GYa, Barkovsky AN, Bratilova AA, Gromov AV, Kaduka MV. Substantiation of the concept of transfer to conditions of normal population activity of the settlements considered to be zones of radioactive contamination after the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(1): 6–18. (In Russian).
4. Orlov MYu, Snykov VP, Bochkov LP. Determination of average ground ^{137}Cs contamination. *Atomnaya Energiya = Atomic Energy*. 1994;76(3): 212–217. (In Russian).
5. Hille R, Hill P, Heinemann K, Ramzaev V, Barkovski A, Konoplia V, et al. Current development of the human and environmental contamination in the Bryansk–Gomel spot due to the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2000;39: 99–109.
6. Nilova EK, Bortnovsky VN, Tagai SA, Dudareva NV, Nikitin AN. Assessment of the current levels of ^{241}Am and ^{137}Cs in soils and foodstuff, as well as of public internal exposure to ionizing radiation in populated areas adjacent to the Chernobyl NPP exclusion zone (case study: the Bragin district of the Gomel region, Belarus). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(3): 25–37. (In Russian).
7. Ramzaev V, Yonehara H, Hille R, Barkovsky A, Mishine A, Sahoo SK, et al. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006;85: 205–227.
8. Rostron P, Heathcote JA, Ramsey MH. Comparison between measurement methods for the characterisation of radioactively contaminated land. Workshop on Radiological Characterisation for Decommissioning, Nyköping, Sweden 17–19 April 2012.
9. Rostron PD, Heathcote JA, Ramsey MH. Comparison between *in situ* and *ex situ* gamma measurements on land areas within a decommissioning nuclear site: a case study at Dounreay. *Journal of Radiological Protection*. 2014;34 (3): 495–508.
10. ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements. Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ICRU report: No. 53. 1994. Bethesda, Maryland, USA.
11. Tyler AN, Sanderson DCW, Scott EM. Estimating and accounting for ^{137}Cs source burial through *In situ* gamma spectrometry in salt marsh environments. *Journal of Environmental Radioactivity*. 1996;33: 195–212.
12. Chesnokov AV, Govorun AP, Fedin VN, Ivanov OP, Liksonov VI, Potapov VN, et al. Method and device to measure ^{137}Cs soil contamination *in-situ*. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 1999;420: 336–344.
13. Drovnikov VV, Egorov MV, Egorov NY, Zhivun VM, Kadushkin AV, Kovalenko VV, et al. *In situ* gamma spectroscopy with basically new abilities. Some results of *In situ* determination of artificial and natural radionuclides concentrations in soils. *ANRI*. 2011;64(1): 56–64. (In Russian).
14. Mikami S, Sato S, Hoshide Y, Sakamoto R, Okuda N, Saito K. *In situ* gamma spectrometry intercomparison in Fukushima, Japan. *Japanese Journal of Health Physics*. 2015;50(3): 182–188.
15. Varley A, Tyler A, Dowdall M, Bondar Y, Zabrotsky V. An *in situ* method for the high resolution mapping of ^{137}Cs and estimation of vertical depth penetration in a highly contaminated environment. *Science of the Total Environment*. 2017;605–606: 957–966.
16. Ramzaev V, Bernhardsson C, Dvornik A, Barkovsky A, Vodovatov A, Jönsson M. *In situ* determination of ^{137}Cs inventory in soil using a field-portable scintillation gamma spectrometer-dosimeter. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2021;231: 106562. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106562>.
17. ATOMTEX, 2020. AT6101D spectrometer (in Russian). Available on: <https://atomtex.com/sites/default/files/data-sheets/mks-at6101d.pdf>. (Accessed 12 September 2020).
18. Ramzaev V, Barkovsky A, Bernhardsson C, Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ^{137}Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 18–29.
19. Ramzaev V, Bernhardsson C, Barkovsky A, Romanovich I, Jarneborn J, Mattsson S, et al. A backpack γ -spectrometer for measurements of ambient dose equivalent rate, $\text{H}^*(10)$, from ^{137}Cs and from naturally occurring radiation: the importance of operator related attenuation. *Radiation Measurements*. 2017;107: 14–22.
20. Ramzaev V, Bernhardsson C, Dvornik A, Barkovsky A, Vodovatov A, Jönsson M, et al. Calculation of the effective external dose rate to a person staying in the resettlement zone of the Vetka district of the Gomel region of Belarus based on *in situ* and *ex situ* assessments in 2016–2018. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020;214–215: 106168.
21. Ramzaev VP, Barkovsky AN. Correlation between calculated and measured values of gamma dose rate in air in forests contaminated with ^{137}Cs : the remote period after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4): 37–46. (In Russian).

22. Bernhardsson C, Stenström KE, Mattsson S, Jönsson M, Pedehontaa-Hiaa G, Rääf C, et al. Zero point assessment of the radiation environment – examples of a program applied in Sweden (ESS) and in Belarus (Belnpp). Proceedings of International Conference “Medical Physics 2019” 7 – 9 November 2019, *Kaunas University of Technology*, Kaunas, Lithuania. 2019, P. 85–88.
23. Ramzaev VP, Barkovsky AN. Method for identifying areas of virgin soils using a portable gamma spectrometer-dosimeter. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 123–128. (In Russian).

Received: February 27, 2021

For correspondence: Valery P. Ramzaev – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of External Exposure, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru)

Anatoly N. Barkovsky – Head of the Federal Radiological Centre, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Anzhelika A. Bratilova – Research Fellow of Internal Radiation Laboratory of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Bratilova A.A. Validation of a method for *in situ* determination of ¹³⁷Cs soil contamination density in kitchen gardens using the portable spectrometer-dosimeter MKS AT6101D. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 56-65. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-56-65

Содержание цезия-137 в почвенном покрове Центрального и Южного Таджикистана

С.В. Муминов, Б.Б. Баротов, У.М. Мирсаидов, Ш.Р. Муродов, Дж.А. Саломов,
И. Мирсаидзода (И.У. Мирсаидов)

Агентство по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии
наук Республики Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Проведено исследование содержания цезия-137 в почвенном покрове Центрального и Южного Таджикистана. Площадь территории исследования регионов республики составляет около 45 000 км². Традиционным методом отобрано 92 образца почв Центрального и Южного Таджикистана из обрабатываемых и необрабатываемых полей до глубины 25 см от поверхности земли. Каждую пробу в точке отбора очищали от камней, корней и других включений. Пробу высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито диаметром отверстий 2 мм. При измерении проб использовали стандартный сосуд «Маринелли» объёмом 1 л. Измерения удельной активности цезия-137 в пробах почв проводились на гамма-спектрометре на основе особо чистого германия. Максимальное содержание цезия-137 наблюдается в пробе почвы № 1 местности Камароб Раитского района, удельная активность в которой составляет 147,5 Бк/кг. Минимальная удельная активность цезия-137 наблюдается в пробах почв местности Таджикабад. Установлена зависимость содержания цезия-137 от рельефа местности в исследуемом регионе. В некоторых исследуемых пробах изотоп цезия-137 не был обнаружен (проба № 2 из пустыни Айвадж района Шахритус и проба № 4 из района Фархор). Исследовано распределение цезия-137 на почвах необрабатываемых полей и почвах обрабатываемых полей Хатлонской области Таджикистана. Обнаружено, что содержание изотопа цезия-137 на обрабатываемых полях отличается от необрабатываемых. Определено, что в почвах обрабатываемых земель цезия-137 концентрируется на глубине до 20–25 см. У подножия гор и в глинистых почвах наблюдается относительно высокое содержание изотопа цезия-137 по сравнению с равнинами и песчаными почвами.

Ключевые слова: цезий-137, почва, содержание, удельная активность, проба, рельеф, регионы Таджикистана.

Введение

Атмосферные испытания ядерного оружия начала 1960-х гг., аварии на ЧАЭС [1] и АЭС «Фукусима-1» [2], бурное развитие атомной энергетики, а также широкое применение радионуклидов в промышленности, медицине и научных исследованиях определяют актуальность проблемы изучения распространения техногенных радионуклидов в природных средах и их воздействия на окружающую среду и биосферу.

Одним из распространенных техногенных радионуклидов, который находят повсеместно в почвах, в донных отложениях рек, озер и морей, в выпадениях атмосферных осадков, является цезий-137.

Ранее в работах [3,4] было изучено содержание природных и техногенных радионуклидов в образцах пыльной мглы юга Таджикистана, где показано наличие цезия-137.

Цель исследования – исследование распределения ¹³⁷Cs в пробах почв ряда районов Центрального и Южного

Таджикистана, отобранных в 2018–2020 гг., в зависимости от рельефа и механических свойств почв.

Задачи исследования

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

- 1) выбор объектов и изучение рельефа местности;
- 2) выбор точек в каждом районе региона и отбор проб почвы на этих точках;
- 3) обработка и анализ полученных результатов;
- 4) изучение характера пространственного распределения цезия-137 в почвенном покрове объекта;
- 5) использование полученных данных для составления карты содержания цезия-137 в Центральном и Южном Таджикистане.

Материалы и методы

Республика Таджикистан по характеру своего рельефа – типичная горная страна с абсолютными высотами поверхностей от 300 до 7495 м. Почти полови-

Мирсаидов Ульмас Мирсаидович

Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан

Адрес для переписки: 734025, Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33; E-mail: ulmas2005@mail.ru

на территории республики расположена на высоте более 3000 м. Для Таджикистана характерна «поэтажная» смена рельефа. Можно выделить следующие пояса: равнинный (на высоте от 300 до 900 м над уровнем моря), предгорный (900–1600 м), низкогорный (1600–2300 м), среднегорный (2300–3500 м) и высокогорный (выше 3500 м). Равнины занимают лишь 7% территории республики [5].

Почвенный покров Таджикистана отличается исключительной пестротой, причем вследствие резких различий в высоте отчетливо выражена высотная почвенная поясность. Выделяются четыре пояса: 1) равнинно-низкогорный в основном с сероземными почвами; 2) среднегорный с горными коричневыми

почвами; 3) высокогорный с высокогорными лугово-степными, степными, пустынно-степными, занговыми и пустынными почвами; 4) нивальный пояс (рухляковые почвы среди ледников, снежников и скал) [5].

Территория регионов, выбранных для отбора проб, включает в себя самые разнообразные ландшафты: альпийские луга, высокогорные и равнинные пустыни, глубокие и узкие ущелья рек, сжатые скалистыми хребтами.

Отбор проб проводился на площади около 45 000 км² на территориях Гиссарского, Раштского, Бохтарского и Кулябского регионов. Для исследования было отобрано 92 образца почв различных типов (табл.). В каждом

Таблица

Средняя удельная активность ¹³⁷Cs в почвах районов Центрального и Южного Таджикистана, координаты местности, количество отобранных проб

[Table

Average specific activity of ¹³⁷Cs in soils of regions of Central and South Tajikistan, area coordinates, number of samples]

Район [District]	Широта [Latitude]	Долгота [Longitude]	Количество отобранных проб [Number of samples]	Средняя удельная активность, Бк/кг [Average specific activity, Bq/kg]
Душанбе [Dushanbe]	38.573060	68.786390	4	5.02
Алмоси [Almosi]	38.585700	68.560300	3	36.4
Камароб [Kamarob]	38.942500	69.683400	4	44.4
Файзобод [Fayzobod]	38.5313442	69.2601323	8	14.2
Канаск [Kanask]	38.680978	69.214411	3	13.4
Шахринав [Shahrinav]	38.577222	68.329722	5	5.4
Бохтар [Bokhtar]	37.8319905	68.7803554	3	4.5
Гаравоти [Garavoti]	37.6711698	68.5490378	3	3.2
Дусти [Dusti]	37.348611	68.673333	3	2.1
Кубодиён [Qubodiyon]	37.3467744	68.1673638	5	2.4
Шахритус [Shahritus]	37.259444	68.134722	5	3.6
Н. Хусрав [N. Khusrav]	37.250000	68.000000	4	6.5
Кулоб [Kulob]	37.911944	69.780833	3	3.8
Воце [Vose]	37.833333	69.583333	4	2.3
Хамадони [Hamadoni]	37.656667	69.629167	3	2.1
Фархор [Farkhor]	37.483333	69.416667	4	2.4
Темурмалик [Temurmalik]	38.178611	69.569167	3	10.2
Ховалинг [Khovaling]	38.341940	69.975310	4	5.4
Сарихосор [Sarikhosor]	38.600610	69.919600	3	25.5

Район [District]	Широта [Latitude]	Долгота [Longitude]	Количество отобранных проб [Number of samples]	Средняя удельная активность, Бк/кг [Average specific activity, Bq/kg]
Курговат [Kurgovod]	39.028710	70.374460	3	3.6
Гарм [Garm]	39.1690888	70.8909218	3	9.8
Мисканобод [Miskinobod]	38.5687075	69.3623526	3	2.8
Лахш [Lahsh]	39.3028047	71.4696426	3	4.1
Таджикабад [Tajikabad]	38.508817	68.954507	3	1.3
Нуробод [Nurobod]	38.781692	70.073327	3	14.3

районе было выбрано от 3 до 8 точек для отбора проб, где минимальное расстояние между точками составляет примерно 4–7 км. Отбор проб почвы проводили согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017 от поверхности земли до глубины 25 см. Отобранные пробы разделили на две категории: пробы почвы из необрабатываемых земель и почва из обрабатываемых полей. Каждую пробу в точке отбора очищали от камней, корней и других включений. Из общей массы методом квартования отбирали более 1 л образца. Почвы высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали на мельнице и просеивали через сито диаметром отверстий 2 мм. Для гамма-спектрометрического измерения проб использовали стандартный сосуд «Маринелли» объёмом 1 л. Измерения проводились на гамма-спектрометре с детектором из особо чистого германия (CANBERA, программное обеспечение Genie-2000) с неопределённостью измерения от 5 до 12% в аккредитованной лаборатории технических

услуг Агентства по ядерной и радиационной безопасности НАНТ.

Результаты и обсуждение

Результаты измерения средней удельной активности ^{137}Cs в почвах районов Центрального и Южного Таджикистана, координаты местности, количество отобранных проб приведены в таблице.

Из таблицы видно, что удельная активность ^{137}Cs в районах Таджикистана различается. Максимальная средняя удельная активность ^{137}Cs наблюдается в почвах гористой местности районов Раштской зоны и территории Сарихосора. Минимальное значение средней удельной активности цезия-137 наблюдается в районе Таджикабад и составляет 1,3 Бк/кг.

На рисунке 1 приведена карта средней удельной активности ^{137}Cs в почвах некоторых регионов Таджикистана в Бк/кг.

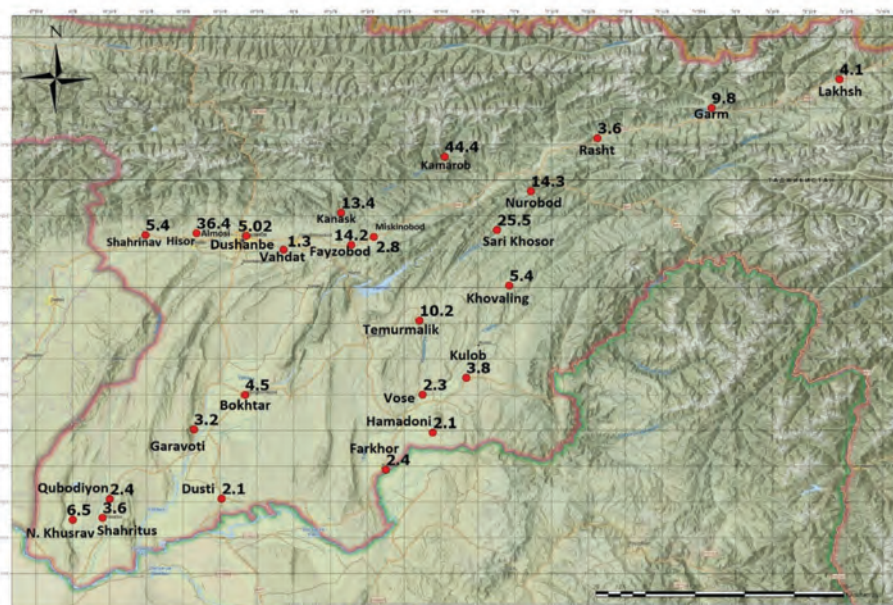


Рис. 1. Карта содержания ^{137}Cs в почвах некоторых регионов Таджикистана (в Бк/кг)
[Fig. 1. Map of ^{137}Cs content in soils of some regions of Tajikistan (Bq/kg)]

При анализе образцов почвы исследуемой местности было установлено, что максимальное значение удельной активности цезия-137 наблюдается в пробе почвы местности Камароб Раштского района и составляет 147,5 Бк/кг, а среднее значение удельной активности в этом районе составляет 44,4 Бк/кг. Проба почвы «Камароб» была отобрана у подножия горы.

На рисунке 2 приведен энергетический спектр гамма-излучения радионуклидов в пробе № 1 почвы, отобранной в «Камароб».

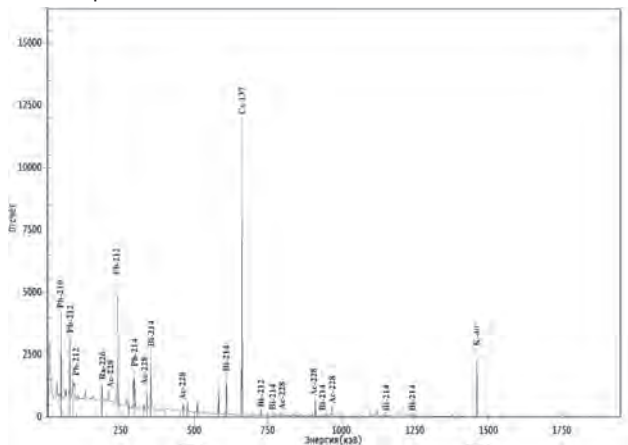


Рис. 2. Энергетический спектр гамма-излучения образца пробы № 1 почвы «Камароб»

[Fig. 2. Energy spectrum of gamma-radiation of the soil sample #1 from "Kamarob"]

Из энергетического спектра (см. рис. 2) видно, что высота пика полного поглощения изотопа ^{137}Cs с энергии 661 кэВ значительно выше по сравнению с природными радионуклидами семейства ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K .

Предполагается, что концентрация радионуклида цезия-137 в данной местности связана с геологическими особенностями ущелья, окруженного высокими скалисто-лесисто-луговыми горными массивами, которое имеет замкнутую форму протяженностью более 35 км в длину с единственным узким проходом, что способствует практически полному осаждению радионуклидов, мигрирующих в составе пылевых бурь и аэрозольных осадков, которые характерны для всех горных массивов Таджикистана [3, 4]. Обычно в результате водной и ветровой эрозии поверхностный слой покрова, смытаясь, накапливается у подножия гор, в составе которого и концентрируются техногенные радионуклиды.

В некоторых исследуемых пробах ^{137}Cs не был обнаружен (проба № 2 из пустыни Айвадж района Шахритус и проба № 4 из района Фархор). Все эти почвы относятся к песчаным. Возможно, это связано с тем, что в песчаной породе вертикальная миграция нуклидов вглубь происходит легко [6, 7].

В зависимости от типа почв от 60 до 95% от общего запаса радионуклидов в верхнем 30-сантиметровом слое почвы радионуклиды мигрируют за счет диффузионных процессов [6]. Нами проводился анализ соотношения распределения ^{137}Cs на необрабатываемых землях и почвах обрабатываемых полей Хатлонской области Таджикистана, результат которого приведен на рисунке 3 в виде диаграммы.

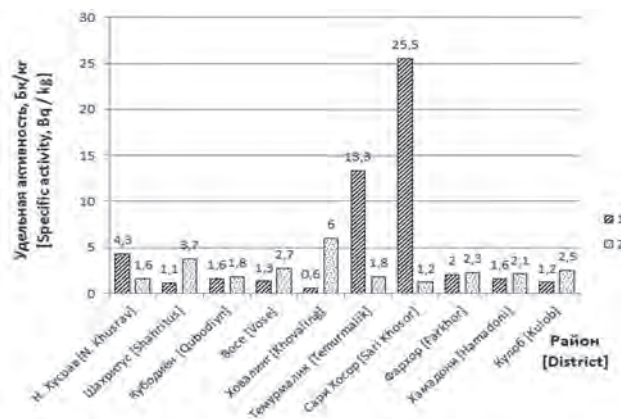


Рис. 3. Диаграмма удельной активности цезия-137 в почве некоторых районов Хатлонской области Таджикистана:

1 – необрабатываемые земли; 2 – обрабатываемые поля

[Fig. 3. Diagram of the specific activity of cesium-137 in the soil of different districts of the Khatlon region of Tajikistan:

1 – uncultivated fields; 2 – cultivated fields]

Как видно из рисунка 3, удельная активность ^{137}Cs в пробах из необрабатываемых гористых земель относительно выше, чем из обрабатываемых полей. В то же время удельная активность ^{137}Cs в некоторых пробах, взятых из обрабатываемых полей равнинных территорий, наоборот, выше, чем в пробах из необрабатываемых участков.

Заключение

Исследование отобранных проб почвы в течение 2018–2020 гг. показало, что содержание ^{137}Cs в почвах районов Центрального и Южного Таджикистана зависит от рельефа и состава грунта местности. Установлено, что распределение ^{137}Cs в районах Таджикистана разное. Максимальная удельная активность ^{137}Cs наблюдается в почвах гористой местности районов Раштской зоны и на территории Сарихосора, а также в необрабатываемых землях Хатлонской области республики.

В некоторых исследуемых пробах почв (песчаных) ^{137}Cs не был обнаружен.

Литература

1. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика. М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 286 с.
2. Булгаков В.Г., Вакуловский С.М., Ким В.М., и др. Техногенные радионуклиды в приземном слое атмосферы вследствие аварии на АЭС «Фукусима» // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4, № 4, С. 26-31.
3. Абдуллаев С.Ф., Абдурасулова Н.А., Назаров Б.И., и др. Распределение природной и техногенной радиоактивности в образцах пыльной мглы юга Таджикистана // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2016. Т. 54, № 9, С. 746-753.
4. Буриев Н.Н., Буриев Н.Т., Давлатшоев Т. Техногенный радионуклид цезий-137 в пищевых дикорастущих растениях Таджикистана // Символ науки. 2018. № 4. С. 7-8.
5. Национальная Программа по борьбе с опустыниванием в Таджикистане. Душанбе, 2000. 184 с.
6. Бакарикова Ж.В., Жукова О.М., Герменчук М.Г. Вертикальная миграция цезия-137 в различных типах

почв как фактор уменьшения внешней дозы облучения. Сборник материалов республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены», Минск, 26–28 октября 2017. М., 2017. С. 67–69

7. Манзон Д.А. Динамика миграции цезия-137 после Чернобыльской аварии на территории русской равнины: Автореф. дисс. ... канд. географ. наук. Москва, 2010. 26 с.

Поступила: 25.02.2021 г.

Муминов Сафарали Валиевич – заведующий сектором контроля облучения населения Агентства по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

Баротов Бахтиёр Бурхонович – заведующий научно-исследовательским сектором Агентства по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

Мирсаидов Ульмас Мирсаидович – главный научный сотрудник Агентства по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана. Адрес для переписки: 734025, Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33; E-mail: ulmas2005@mail.ru

Муродов Шохин Рустамович – старший научный сотрудник Агентства по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

Саломов Джаббор Абдусатторович – ведущий научный сотрудник Агентства по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

Мирсаидзода Илхом (Мирсаидов Илхом Ульмасович) – директор Агентства по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, доктор технических наук, Душанбе Таджикистан

Для цитирования: Муминов С.В., Баротов Б.Б., Мирсаидов У.М., Муродов Ш.Р., Саломов Дж.А., Мирсаидзода И. (Мирсаидов И.У.) Содержание цезия-137 в почвенном покрове Центрального и Южного Таджикистана // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 66–71. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-66-71

Content of cesium-137 in the soil cover of Central and Southern Tajikistan

Safarali V. Muminov, Bakhtiyor B. Barotov, Ulmas M. Mirsaidov, Shohin R. Murodov, Jabor A. Salomov, Ilhom Mirsaidzoda (Ilkhom U. Mirsaidov)

Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

The content of cesium-137 in the soil cover of the central and southern parts of Tajikistan was studied. The study area of the regions of the republic is about 45,000 km². 92 soil samples from the Central and Southern parts of the republic were collected from cultivated and uncultivated fields to a depth of 25 cm from the ground surface. Each sample at the sampling point was cleared of stones, roots and other inclusions. The sample was dried to an air-dry state, crushed and sieved through a sieve with a hole diameter of 2 mm. When measuring the samples, we used a standard 1 L Marinelli beaker. Measurements of the specific activity of cesium-137 in soil samples were carried out on a gamma spectrometer based on highly pure germanium. The maximum content of cesium-137 was observed in soil sample No. 1 of the Kamarob area of the Rasht district, which specific activity in the sample is 148 Bq / kg. The minimum specific activity of cesium-137 is observed in soil samples from the Tajikabad district. The dependence of the concentration of cesium-137 on the topography in the region under study has been established. In some of the investigated samples, the cesium-137 isotope was not detected (sample no. 2 from the Ayvaj area of the Shahritus district and sample no. 4 from the Farkhor district). The dynamics of the distribution of cesium-137 on the soils of uncultivated fields and soils of cultivated fields of the Khatlon region of Tajikistan has been studied. It was found that the content of the isotope of cesium-137 in the treated fields differs from the untreated ones. It has been determined that in the soils of cultivated lands, the content of cesium-137 is concentrated at a depth of 20–25 cm. At the foot of the mountains and clay soils, a relatively high content of the isotope of cesium-137 is observed in comparison with plains and sandy soils.

Key words: cesium-137, soil, content, specific activity, sample, relief, regions of Tajikistan.

Ulmas M. Mirsaidov

Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan

Address for correspondence: prosp. Rudaki, 33, Dushanbe, 734025, Tajikistan; E-mail: ulmas2005@mail.ru

References

1. Sapozhnikov YuA, Aliev RA, Kalmykov SN. Environmental radioactivity. Theory and practice. M: BINOM. Knowledge Laboratory; 2009. 286 p. (In Russian)
2. Bulgakov VG, Vakulovsky SM, Kim VM, et al. Man-made Radionuclides in the Near-the-ground Atmospheric Layer due to the Fukushima Accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(4): 26-31. (In Russian)
3. Abdullaev SF, Abdurasulova NA, Nazarov BI. and others. Distribution of natural and technogenic radioactivity in samples of the dusty haze of the south of Tajikistan. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan = Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*. 2016;54(9): 746-53. (In Russian)
4. Buriev NN, Buriev NT, Davlatshoev T. Technogenic radionuclide cesium-137 in food wild plants of Tajikistan. *Simvol nauki = Symbol of Science*. 2018;4: 7-8. (In Russian)
5. National Program to Combat Desertification in Tajikistan. Dushanbe; 2000. 184p. (In Russian)
6. Bakarikova ZhV, Zhukova OM, Germenchuk MG. Vertical migration of cesium-137 in different types of soils as a factor in reducing the external dose of radiation. Collection of materials of the republican scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the republican unitary enterprise "Scientific and practical center of hygiene", 26-28 October 2017: Minsk; 2017. P. 67-69. (In Russian)
7. Manzon DA. Dynamics of migration of cesium-137 after the Chernobyl accident on the territory of the Russian plain: Author's abstract of the dissertation for the degree of candidate of geographical sciences. Moscow; 2010. 26 p. (In Russian)

Received: 25 February, 2021

Safarali V. Muminov – Head of Public exposure control sector Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

Bakhtier B. Barotov – Leader of the scientific-research sector, Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

For correspondence: Ulmas M. Mirsaidov – Chief scientist, Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan (prosp. Rudaki, 33, Dushanbe, 734025, Tajikistan; E-mail: ulmas2005@mail.ru)

Shohin R. Murodov – Senior Researcher of Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

Jabor A. Salomov – leading research worker of Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

Ilhom Mirsaidzoda (Ilkhom U. Mirsaidov) – Director of the Nuclear and Radiation Safety Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, doctor of technical sciences, Dushanbe, Tajikistan

For citation: Muminov S.V., Barotov B.B., Mirsaidov U.M., Murodov Sh.R., Salomov J.A., Mirsaidzoda I. (Mirsaidov I.U.) Content of cesium-137 in the soil cover of Central and Southern Tajikistan. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P.66-71. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-66-71

Сравнительная оценка средних доз облучения населения Иркутской и Воронежской областей по данным ЕСКИД

В.Н. Ракитский¹, М.К. Кузмичев², О.В. Клепиков³, Г.В. Куренкова⁴

¹Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи, Россия

²Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Воронеж, Россия

³Воронежский государственный университет, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Воронеж, Россия

⁴Иркутский государственный медицинский университет, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Иркутск, Россия

Целью исследования являлась сравнительная оценка средних доз облучения населения Воронежской и Иркутской областей по данным Единой государственной системы контроля индивидуальных доз и радиационно-гигиенической паспортизации. Объектами исследования являлись территории Воронежской и Иркутской областей, существенно различающиеся природно-климатическими условиями и ресурсами, промышленным потенциалом, но соизмеримые по численности населения. Предметом исследования являлись средние территориальные значения доз облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников, доз облучения населения за счет природных источников и техногенного фона, доз облучения пациентов за счет использования ионизирующего излучения в медицинской диагностике. Применялся метод сравнительного анализа эффективных коллективных и индивидуальных средних годовых доз облучения. В Воронежской и Иркутской областях приоритетным дозообразующим фактором является природное излучение, вклад которого в годовую эффективную коллективную дозу составляет 83,33 и 89,18% соответственно. Вместе с тем, средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения в Иркутской области по отношению к Воронежской существенно выше по радону — в 2,81 раза, за счет содержания радионуклидов в питьевой воде — в 1,93 раза и внешнему терригенному излучению — в 1,46 раза, что ведет к различиям величин суммарных индивидуальных эффективных доз, связанных с природными источниками ионизирующего излучения, в 2 раза. Данные различия объясняются особенностями физико-географического расположения территорий. Имеются существенные различия в величинах средних эффективных годовых доз населения, обусловленных глобальными выпадениями и прошлыми радиационными авариями, т.к. часть территории Воронежской области подвергалась радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (в Воронежской области — 0,062 мЗв/год, в Иркутской — 0,005 мЗв/год). В величину доз медицинского облучения, которые занимают второе место в структурах эффективных коллективных годовых доз облучения населения (в Воронежской области составляют 16,46%, Иркутской — 10,74%), ведущий вклад вносят рентгенография (63,15 и 67,27%) и флюорография (31,29 и 27,41% на территориях областей соответственно). Установлено, что радиационная обстановка на территории Воронежской и Иркутской областей остается стабильной и безопасной.

Ключевые слова: источники ионизирующего излучения, дозы облучения населения, Воронежская область, Иркутская область.

Введение

Совершенствование методических разработок по гигиенической оценке доз облучения [1], апробирование дифференцированных подходов к показателям при оценке функционирования радиационно-опасных объектов [2], развитие средств инструментального контроля уровня ионизирующих излучений от различных источников

[3], научное обоснование принципов и норм обеспечения радиационной безопасности персонала и населения [4–8] в настоящее время позволяют эффективно решать множество задач в предметной области радиационной гигиены [9].

Развитие в Роспотребнадзоре единой государственной системы контроля индивидуальных доз (ЕСКИД),

Кузмичев Максим Константинович

Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко

Адрес для переписки: 394038, Воронеж, ул. Космонавтов, д. 21, E-mail: maxidoctor@rambler.ru

основанной на унифицированном перечне показателей, позволило проводить сравнительную оценку радиационной обстановки в различных субъектах Российской Федерации [10].

Анализ сведений из ЕСКИД о дозах облучения населения от природных источников и техногенно-измененного фона, облучения персонала и населения за счет нормальной эксплуатации радиационных объектов, источников ионизирующего излучения (ИИИ), медицинского облучения пациентов, показал, что ведущий вклад в формирование коллективной дозы облучения населения территории России вносят природные источники ионизирующего излучения, к которым относят радон, содержащийся в воздухе, космическое и терригенное облучение, облучение за счет содержащегося в организме человека калия-40 (К-40) и поступления радионуклидов с продуктами питания и водой [11].

Медицинское облучение занимает второе ранговое место в структуре коллективной дозы облучения населения, и в этой связи значимое внимание уделяется вопросам нормирования облучения пациентов и персонала и совершенствованию медицинской диагностической техники, использующей ИИИ [12, 33].

Вместе с тем, уровень и структура доз облучения населения во многом связаны с природными и техногенными факторами конкретной территории. В этой связи сравнительная оценка доз облучения представляет научный и практический интерес.

Цель исследования – сравнительная оценка средних доз облучения населения Воронежской и Иркутской областей по данным ЕСКИД и радиационно-гигиенической паспортизации.

Материалы и методы

Воронежская и Иркутская области – субъекты Российской Федерации, существенно различающиеся природно-климатическими условиями и ресурсами, промышленным потенциалом, но соизмеримые по численности населения. Численность населения (2020 г.) в Иркутской области – 2,391 млн человек, в Воронежской – 2,324 млн человек.

Благодаря информационному сборнику «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году», подготовленному коллективом авторов ФБУН «Научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева» и ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, интегрирующему данные, собираемые в рамках ЕСКИД по формам федерального государственного статистического наблюдения 1-ДОЗ, 2-ДОЗ, 3-ДОЗ и 4-ДОЗ, стало возможным проведение сравнительного анализа по ведущим показателям, характеризующим радиационную безопасность населения: дозам облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников; дозам облучения населения за счет природных источников; дозам облучения населения за счет техногенного фона; дозам облучения пациентов за счет использования ионизирующего излучения в медицинской диагностике [14].

Применялся метод сравнительного анализа эффективных коллективных и индивидуальных средних годовых доз облучения населения в 2017 г. Для характеристики уровня природного излучения использовались результа-

ты интегральной оценки доз по данным измерений с 2001 по 2017 г.

Результаты и обсуждение

Следует отметить, что радиационная обстановка на территориях Воронежской и Иркутской областей последние десятилетия не претерпевает существенных изменений, оценивается как стабильная и удовлетворительная [15, 16].

Повышение охвата радиационно-гигиенической паспортизацией организаций до 98–100% позволяет с высокой степенью достоверности проводить оценку доз облучения персонала и населения от различных ИИИ.

Сравнительный анализ данных показывает, что количество персонала, подвергающегося воздействию доз техногенного производственного облучения за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения в Воронежской и Иркутской областях, составляет 4912 и 3099 человек соответственно. Интервал годовых индивидуальных эффективных доз составляет от 0,00 до 15,0 мЗв/год при среднем значении 0,78 мЗв/год и от 0,00 до 20,0 мЗв/год при среднем значении 1,36 мЗв/год соответственно. Таким образом, различие средних значений индивидуальных годовых эффективных доз составляет 1,7 раза. Коллективные эффективные годовые дозы составляют 3,82 и 4,22 чел.-Зв/год соответственно.

Распределение численности персонала группы А по диапазонам индивидуальных годовых эффективных доз техногенного производственного облучения за счет нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения для Воронежской (4782 чел.) и Иркутской (2680 чел.) областей составляет в интервале от 0–1 мЗв – 3871 и 796 человек соответственно, 1–2 мЗв – 492 и 1430 человек, 2–5 мЗв – 346 и 428 человек, 5–12,5 мЗв – 100 и 22 человека, 2,5–20 мЗв – 13 и 4 человека. Большинство персонала группы А Воронежской области работает на Нововоронежской АЭС (объект 1 категории потенциальной радиационной опасности). На территории Иркутской области объекты 1 и 2 категории потенциальной радиационной опасности отсутствуют. Тем не менее, средняя индивидуальная эффективная доза персонала группы А на территории Воронежской области в 1,9 раза ниже, чем в Иркутской (0,79 и 1,48 мЗв/год соответственно). При этом коллективные дозы для персонала группы А являются соизмеримыми – 3,77 и 3,96 чел.-Зв/год соответственно.

Численность персонала группы Б на предприятиях Воронежской области составляет 130 человек, Иркутской – 419. Средние годовые эффективные индивидуальные дозы персонала – 0,39 и 0,61 мЗв/год, коллективные – 0,05 и 0,26 чел.-Зв/год.

Доли вклада ИИИ за счет деятельности предприятий в структуру коллективных доз населения Воронежской и Иркутской областей не существенны и составляют 0,07 и 0,02% соответственно.

Вместе с тем, в структуре коллективной дозы населения областей лидируют природные ИИИ: в Воронежской области их вклад составляет 83,33%, в Иркутской – 89,18%.

Средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения в Иркутской и Воронежской областях существенно различаются. В частности, дозы,

обусловленные содержанием радона, отличаются в 2,81 раза, содержанием радионуклидов в питьевой воде – в 1,93 раза, внешним терригенным излучением – в 1,46 раза, что ведет к различиям величин полных доз в 2 раза (табл. 1).

Таблица 1

Средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения, мЗв

[Table 1]

Average individual annual effective doses to the public due to natural sources of ionizing radiation, mSv

Объект – источник облучения [Object – source of radiation]	Воронежская область [Voronezh region]	Иркутская область [Irkutsk region]
Калий-40 [Potassium-40]	0,17	0,17
Космическая компонента [Cosmic component]	0,340	0,375
Внешнее терригенное излучение [External terrigenous radiation]	0,61	0,89
Радон [Radon]	1,24	3,49
Продукты питания [Food]	0,124	0,123
Питьевая вода [Drinking water]	0,029	0,056
Атмосферный воздух [Atmospheric air]	0,006	0,006
Полная (суммарная) доза [Full (total) dose]	2,52	5,11

Различия в дозах, обусловленных радоном, объясняются тем, что Иркутская область занимает юго-восточную часть Среднесибирского плоскогорья, на востоке имеются Прибайкальские горы, на юге – отроги Восточного Саяна, сам город Иркутск географически расположен на геологических разломах, в то время как для территории Воронежской области эти факторы не характерны. Кроме того, различия доз, обусловленных радоном, могут быть объяснены разными температурными режимами в регионах. Учитывая, что средняя годовая температура воздуха на территории Воронежской области составляет +6,9 °C (на севере области 4,6–5,6 °C, на юге – до 7 °C), а почти на всей территории Иркутской области она отрицательная (в Иркутске -1 °C, в Братске -2 °C, в Бодайбо -6 °C, в Катангском районе -9 °C), то это приводит к меньшему накоплению радона в помещениях более южно расположенной территории Воронежской области за счет более активного режима естественной вентиляции в зданиях.

В 1,1 раза отличаются дозы, связанные с космической компонентой, что объясняется различной высотой местности над уровнем моря основных населенных пунктов, в которых проживает не менее 50% жителей субъекта РФ. В частности, территория города Воронежа расположена на высоте 90–165 м в центральной части Восточно-Европейской равнины, Иркутск – на высоте 420–550 м на Иркутско-Черемховской равнине.

Следует отметить, что часть территории Воронежской области (74 населенных пункта в 8 административных районах), в отличие от Иркутской, подверглась радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.), что обуславливает различные доли вклада техногенных источников (глобальных выпадений и прошлых радиационных аварий) в структуру коллективных доз населения Воронежской и Иркутской областей (0,14 и 0,06% соответственно) [16].

Средние эффективные годовые дозы облучения населения, обусловленные аварией на ЧАЭС, не превышают 1 мЗв. Максимум, по данным за 2019 г., составляет 0,14 мЗв/год в селе Петренково Острогожского района. Коллективная доза от аварии на ЧАЭС (2017 г.) – 1,6 чел.-Зв/год. Проживание и хозяйственная деятельность в данных населенных пунктах по радиационному фактору не ограничивается. Средние годовые эффективные индивидуальные дозы населения, обусловленные техногенными источниками, включая глобальные выпадения и прошлые радиационные аварии, составляют в Воронежской области – 0,062 мЗв/год, в Иркутской – 0,005 мЗв/год.

Медицинские диагностические рентгенорадиологические процедуры в структуре коллективной дозы Воронежской области составляют 16,46%, Иркутской – 10,74%. При этом, несмотря на соизмеримые численности населения, проживающего на их территориях, значительно (в 1,5 раза) различается число диагностических процедур и их структура (табл. 2).

Данный факт, в свою очередь, обуславливает различия величин годовых коллективных доз облучения от медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур, которые составляют в Воронежской области 1270 чел.-Зв/год, в Иркутской – 1850 чел.-Зв/год, средних годовых доз медицинского облучения населения – 0,54 и 0,77 мЗв/год соответственно, при соизмеримых значениях средних доз медицинского облучения пациентов в расчете на одну процедуру (0,27 и 0,30 мЗв соответственно).

Результаты проведенных исследований по оценке доз облучения населения Воронежской и Иркутской областей по данным ЕСКИД, в целом, согласуются с полученными данными более ранних работ. Так, по результатам ранее проведенных региональных исследований, в Воронежской области отмечается, что природные источники являются основными дозообразующими факторами для населения, их ежегодный вклад в годовую эффективную дозу за период 2010–2017 гг. составляет от 74,96 до 83,65%; превышений нормативов радиационной безопасности не зарегистрировано [17, 18].

По данным И.В. Ханыгина (2010), в структуре годовой эффективной дозы облучения населения Иркутской области также лидируют природные источники ионизирующего излучения (84,92%) и облучения от медицинских исследований (14,93%); обращается внимание на значительный вклад радона в суммарную дозу облучения (44,01%), с 2003 по 2008 г. отмечена тенденция к снижению индивидуальных доз медицинского облучения с 0,73 до 0,39 мЗв на процедуру за счет применения новой малодозовой аппаратуры по программе «Здоровье» [19].

Исследованиями, рассматривающими последствия влияния аварии на Чернобыльской АЭС на территорию Воронежской области по основным характеристикам

Число и структура медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур (2017 г.)

Таблица 2

[Table 2]

Quantity and structure of medical diagnostic radiological procedures (2017)

Медицинские исследования [Medical procedure]	Воронежская область [Voronezh region]		Иркутская область [Irkutsk region]	
	тыс. шт. [thousand units]	%	тыс. шт. [thousand units]	%
Флюорография [fluorography]	1446,7	31,29	1677,7	27,41
Рентгенография [radiography]	2919,3	63,15	4116,8	67,27
Рентгеноскопия [fluoroscopy]	31,0	0,67	52,6	0,86
Компьютерная томография [CT scan]	164,0	3,55	253,1	4,14
Радионуклидные исследования [radionuclide studies]	54,8	1,19	16,5	0,27
Специальные исследования [special studies]	6,0	0,13	3,4	0,06
Прочие [other]	0,8	0,02	0,3	0,00
Всего [Total]	4623	100	6120	100,00

поверхностной загрязненности почвы радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr (Ки/км²) по истечении 30-летнего периода после аварии, показано снижение максимальных значений поверхностной загрязненности почвы с 3,15 до 1,66 и с 0,063 до 0,0033 Ки/км² соответственно и максимальных территориальных значений доз внешнего облучения с 1,70 до 0,08 мЗв/год, что позволяет считать радиационную обстановку удовлетворительной [20].

Заключение

Радиационная обстановка на территории Воронежской и Иркутской областей остается стабильной и безопасной. Приоритетным дозообразующим фактором является природное излучение, вклад которого в годовую эффективную коллективную дозу составляет 83,33 и 89,18% соответственно. Вместе с тем, средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения в Иркутской и Воронежской областях существенно различаются. В частности, дозы, обусловленные содержанием радона, отличаются в 2,81 раза, содержанием радионуклидов в питьевой воде – в 1,93 раза, внешним терригенным излучением – в 1,46 раза, что ведет к различиям величин полных доз в 2 раза. Данные различия объясняются особенностями физико-географического расположения территорий. Доза природного облучения населения Иркутской области, составляющая 5,11 мЗв/год, в соответствии с СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)» и СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения» классифицируется как повышенное природное облучение населения региона, в то время как природное облучение населения Воронежской

области (2,52 мЗв/год) относится к приемлемому уровню (менее 5 мЗв/год).

Имеются существенные различия в величинах средних эффективных годовых доз населения, обусловленных глобальными выпадениями и прошлыми радиационными авариями, т.к. часть территории Воронежской области подвергалась радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (в Воронежской области – 0,062 мЗв/год, в Иркутской 0,005 мЗв/год).

В величину доз медицинского облучения, которые занимают второе место в структурах эффективных коллективных годовых доз облучения населения (в Воронежской области составляют 16,46%, Иркутской – 10,74%), ведущий вклад вносят рентгенография (63,15 и 67,27%) и флюорография (31,29 и 27,41% на территориях областей соответственно).

Финансирование

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ (проект 19-05-00660А «Разработка модели оптимизации социально-экологических условий для населения крупных городов»).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Романович И.К., Кормановская Т.А., Королева Н.А., и др. Обоснование методологических и методических подходов к оценке доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2. С. 34-43.
2. Коренков И.П., Охрименко С.Е., Самойлов А.С. Дифференцированный подход к гигиеническим показателям при оценке деятельности радиационных объектов // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 3. С. 256-260.

3. Коннова Л.А. Радиационный контроль в системе радиационной безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 100-106.
4. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 2. Радиационные риски и совершенствование системы радиационной защиты // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2. С. 6-24.
5. Грачев А.С., Швец Д.В., Лобковская Н.И. Становление и развитие радиационной безопасности в нормативных документах: история вопроса // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2018. №5. С. 255-258.
6. Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М. Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности населения: основные понятия и определения // Радиационная гигиена. 2018. Т.11, №3. С. 83-91.
7. Уйба В.В., Самойлов А.С., Ильин Л.А., Коренков И.П. Радиационная безопасность персонала медицинских и промышленных учреждений (1945-2016 гг.) // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 9. С. 801-809.
8. Симак А.В., Абрамов Ю.В., Проскурякова Н.Л. Радиационно-гигиенические аспекты управления безопасностью персонала // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 9. С. 878-882.
9. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 1. Основные достижения и задачи по совершенствованию // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 3. С. 7-17.
10. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 2. Характеристика источников и доз облучения населения Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2017. Т.10, № 3. С. 18-35.
11. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р., и др. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2017 г. // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 4. С. 98-128.
12. Охрименко С.Е., Ильин Л.А., Коренков И.П., и др. Оптимизация доз облучения пациентов в лучевой диагностике // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 12. С. 1331-1337.
13. Кашеев В.В., Пряхин Е.А. Медицинское диагностическое облучение: проблема радиационной безопасности. Обзор // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2018. Т. 27, № 4. С. 49-64.
14. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р., и др. Информационный сборник: Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году. СПб., 2018. 69 с.
15. Кузмичев М.К., Степкин Ю.И., Клепиков О.В., Кухтина И.В. Гигиеническая оценка доз облучения населения Воронежской области от источников ионизирующего излучения // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94, № 9. С. 39-41.
16. Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., и др. Средние накопленные за 1986-2016 годы эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения по Постановлению Правительства Российской Федерации от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 2. С. 57-105.
17. Заряева Е.В., Кузмичев М.К. Гигиеническая оценка радиационного фактора на территории в Воронежской области // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 2. С. 478-480.
18. Стёпкин Ю.И., Кузмичев М.К., Клепиков О.В., и др. Гигиеническая оценка доз облучения населения Воронежской области за счет естественного и техногенно измененного фона // Радиационная гигиена. 2018. Т.11, № 2. С. 74-79.
19. Ханьгин И.В. Гигиеническая оценка радиационной обстановки в Иркутской области // Сибирский медицинский журнал. 2010. № 5. С.116-119.
20. Попов В.И., Клепиков О.В., Кузмичев М.К. К 30-летию катастрофы на Чернобыльской АЭС: оценка последствий радиоактивного загрязнения и современной радиационной обстановки на территории Воронежской области // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2016. №1. С. 48-55.

Поступила: 21.04.2020 г.

Ракитский Валерий Николаевич – академик Российской академии наук, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель Института гигиены, токсикологии пестицидов и химической безопасности, Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Мытищи, Россия

Кузмичев Максим Константинович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиенических дисциплин Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко. **Адрес для переписки:** 394038, Воронеж, ул. Космонавтов, д. 21; E-mail: maxidoctor@rambler.ru

Клепиков Олег Владимирович – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

Куренкова Галина Владимировна – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры профильных гигиенических дисциплин Иркутского государственного медицинского университета, Иркутск, Россия

Для цитирования Ракитский В.Н., Кузмичев М.К., Клепиков О.В., Куренкова Г.В. Сравнительная оценка средних доз облучения населения Иркутской и Воронежской областей по данным ЕСКИД // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 72–78. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-72-78

Comparative evaluation of average doses of radiation of population of Irkutsk and Voronezh regions according to «Unified state system of control of individual doses»

Valery N. Rakitsky ¹, Maxim K. Kuzmichev ², Oleg V. Klepikov ³, Galina V. Kurenkova ⁴

¹Federal Scientific Center for Hygiene named by F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Mytishchi, Russia

²Voronezh State Medical University named by N.N. Burdenko of the Ministry of Health of Russia, Voronezh, Russia

³Voronezh State University of the Ministry of Education and Science of Russia, Voronezh, Russia

⁴Irkutsk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Irkutsk, Russia

The aim of the study was a comparative assessment of radiation doses to the population of the Voronezh and Irkutsk regions according to the unified state system for monitoring individual doses and radiation-hygienic certification. The objects of research were the territories of the Voronezh and Irkutsk regions, significantly differing in climatic conditions and resources, industrial potential, but comparable in terms of population. The subject of the study was the average territorial values of radiation doses to personnel due to the normal operation of anthropogenic sources, radiation doses to the population due to natural sources and anthropogenic background, radiation doses to patients due to the use of ionizing radiation in medical diagnostics. The method of comparative analysis of effective collective and individual average annual radiation doses was used. In the Voronezh and Irkutsk regions, the priority dose-generating factor is natural radiation, which contribution to the annual effective collective dose is 83.33 and 89.18%, respectively. At the same time, the average individual annual effective doses to the population due to natural sources of ionizing radiation in the Irkutsk region in relation to the Voronezh region are significantly higher for radon – 2,81 times, due to the content of radionuclides in drinking water – 1,93 times and external terrigenous radiation – 1,46 times, which leads to a two-fold difference in the total individual effective doses associated with natural sources of ionizing radiation. These differences are explained by the features of the physical and geographical location of territories. There are significant differences in the values of the average effective annual doses of the population due to global fallouts and past radiation accidents, because a part of the territory of the Voronezh region was exposed to radioactive contamination as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant (in the Voronezh region – 0.062 mSv / year, in the Irkutsk – 0.005 mSv / year). Radiography (63.15 and 67.27%) makes the leading contribution to the value of medical radiation doses, which occupy the second place in the structures of the effective collective annual doses to the population (in the Voronezh region make up 16.46%, in the Irkutsk region – 10.74%) and fluorography (31.29 and 27.41% in the regions, respectively). It was established that the radiation situation in the Voronezh and Irkutsk regions remains stable and safe.

Key words: sources of ionizing radiation, radiation doses to the population, Voronezh region, Irkutsk region.

References

- Romanovich IK, Kormanovskaya TA, Koroleva NA, Saprykin KA. Justification of the methodical approaches to the assessment of the doses of the public residing in the zone of influence of the facilities of the nuclear and radiation legacy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 34-43 (In Russian).
- Korenkov IP, Okhrimenko SE, Samoylov AS. The differentiated approach to hygiene indicators in assessing the activity of radiation facilities. *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2019;98(3): 256-260 (In Russian).
- Konnova LA. Radiation monitoring in the radiation safety system. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere*. 2019;4(52): 100-106 (In Russian).
- Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovatov AV, Bashketova NS, Istorik OA, et al. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 2: radiation risks and development of the system of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 6-24 (In Russian).
- Grachev AS, Shvets DV, Lobkovskaya NI. Formation and development of radiation safety in regulatory documents: background = Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2018;5: 255-258 (In Russian).
- Repin LV, Biblin AM, Vishnyakova NM. Problems of risk communication related to the provision of the radiation safety. Basic concepts and definitions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(3): 83-91 (In Russian).
- UybaVV, Samoylov AS, Ilyin LA, Korenkov IP. Radiation safety of personnel of medical and industrial institutions (1945-2016). *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2017;96(9): 801-809 (In Russian).
- Simakov AV, Abramov YuV, Proskuryakova NL. Radiation-hygienic aspects of personnel safety management. *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2017;96(9): 878-882. (In Russian).
- Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Barkovsky AN, Kormanovskaya TA, Shevkun IG. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 1: Main achievements and chal-

Maxim K. Kuzmichev

Voronezh State Medical University named by N.N. Burdenko

Address for correspondence: Cosmonavtov str., 21, Voronezh, 394038, Russia; E-mail: maxidoctor@rambler.ru

- lenges to improve. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3): 7-17 (In Russian).
10. Onischenko GG, Popova AY, Romanovich IK, Barkovsky AN, Kormanovskaya TA, Shevkun IG. Radiation-hygiene passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 2: characteristics of the sources and exposure doses of the population of the Russian Federation. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3): 18-35 (In Russian).
 11. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. The results of functioning of the Unified System of Individual Dose Control of the Russian Federation citizens based on the 2017 data. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(4): 98-128 (In Russian).
 12. Okhrimenko SE, Ilyin LA, Korenkov IP, Morozov SP, Biryukov AP, Gombolevsky VA, et al. Optimization of radiation doses to patients in x-ray diagnostics. *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2019;98(12): 1331-1337 (In Russian).
 13. Kashcheev VV, Pryakhin EA. Medical diagnostic exposure: radiation safety issue. Overview. *Radiatsiya i risk (Byulleten Natsionalnogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra) = Radiation and Risk (Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Register)*. 2018;27(4): 49-64 (In Russian).
 14. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2017. Saint-Petersburg; 2018. 69 p. (In Russian).
 15. Kuzmichev MK, Stepkin Yul. Klepikov OV, Kukhtina IV. Hygienic assessment of radiation doses to the population of the Voronezh region from sources of ionizing radiation. *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2015;94(9): 39-41 (In Russian).
 16. Bruk GYa, Bazyukin AB, Bratilova AA, Vlasov AY, Gromov AV, Zhesko TV, et al. The average accumulated effective doses (1986-2016) for the population of the settlements of the Russian Federation attributed to the zones of radioactive contamination according to the Russian Federation government resolution «On the approval of the list of the settlements being in the borders of the zones of radioactive contamination due to the disaster on the Chernobyl NPP» № 1074 from 08.10.2015. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(2): 57-105. (In Russian).
 17. Zaryaeva EV, Kuzmichev MK. Hygienic assessment of the radiation factor in the territory in the Voronezh region. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy = Bulletin of new medical technologies*. 2011;18(2): 478-480 (In Russian).
 18. Stepkin Yul, Kuzmichev MK, Klepikov OV, Studenikina EM. Hygienic evaluation of exposure doses for the Voronezh region population from the natural and technogenously modified background. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 74-79 (In Russian).
 19. Khanygin IV. Hygienic assessment of the radiation situation in the Irkutsk region. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal = Siberian Medical Journal*. 2010;5: 116-119 (In Russian).
 20. Popov VI, Klepikov OV, Kuzmichev MK. On the 30th anniversary of the Chernobyl disaster: an assessment of the consequences of radioactive contamination and the current radiation situation in the Voronezh region. *Mediko-biologicheskie i sotsialno-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh = Biomedical and socio-psychological safety problems in emergency situations*. 2016;1: 48-55 (In Russian).

Received: April 21, 2020

Valery N. Rakitsky – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director of the Institute of Hygiene, Toxicology of Pesticides and Chemical Safety of the Federal Scientific Center for Hygiene named by F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Mytishchi, Russia

For correspondence: Maxim K. Kuzmichev – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Hygienic Disciplines, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko (Cosmonavtov str., 21, Voronezh, 394038, Russia, E-mail: maxidoctor@rambler.ru)

Oleg V. Klepikov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of Department of Geocology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Galina V. Kurenkova – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Specialized Hygienic Disciplines of the Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia

For citation: Rakitsky V.N., Kuzmichev M.K., Klepikov O.V., Kurenkova G.V. Comparative evaluation of average doses of radiations of population of Irkutsk and Voronezh regions according to «Unified state system of control of individual doses». *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 72-78. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-72-78

Анализ актуальности оформления технического паспорта на рентгеновский кабинет медицинской организации и согласования плана размещения рентгеновского оборудования с рентгенорадиологическим отделением

И.И. Березин ¹, С.С. Сомов ², К.В. Якушева ²

¹ Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара, Россия

² Центр гигиены и эпидемиологии в Самарской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Самара, Россия

Технический паспорт на рентгеновский кабинет, согласно действующему санитарному законодательству, является обязательным документом, удостоверяющим техническое состояние рентгенодиагностической аппаратуры, устройств для проявления, фиксирования и сушки рентгеновских пленок, дополнительного оборудования и принадлежностей для осуществления специальных видов рентгенодиагностики, средств защиты от ионизирующего излучения рабочих мест персонала кабинета и примыкающих к кабинету помещений и подтверждающим соответствие их характеристик нормативно-технической документации и отечественным стандартам. Целью настоящей работы являлась оценка актуальности и необходимости оформления технического паспорта на рентгеновский кабинет и согласование проекта рентгеновского кабинета с рентгенорадиологическим отделением в свете действующего санитарного законодательства. Оформление технического паспорта организациями, имеющими специальные разрешения на данные виды работ, а не только рентгенорадиологическим отделением, повысило бы юридическую ценность технического паспорта. Информация, содержащаяся в техническом паспорте, дублируется в остальной документации на рентгеновский кабинет, требования к которой закреплены в санитарном законодательстве, что, в целом, ставит под сомнение необходимость технического паспорта как обязательного документа.

Ключевые слова: технический паспорт, рентгеновский кабинет, гигиеническое нормирование, медицинская организация.

Введение

Согласно «Техническому паспорту на рентгеновский кабинет» (утвержденному Минздравом 02.08.2002 г.)¹, технический паспорт (ТП) на рентгеновский диагностический кабинет является документом, удостоверяющим техническое состояние рентгенодиагностической аппаратуры, устройств для проявления, фиксирования и сушки рентгеновских пленок, дополнительного оборудования и принадлежностей для осуществления специальных видов рентгенодиагностики, средств защиты от ионизирующего излучения рабочих мест персонала кабинета и примыкающих к кабинету помещений и подтверждающим соответствие их характеристик нормативно-технической

документации и отечественным стандартам. Сразу следует отметить, что документ «Технический паспорт на рентгеновский кабинет» (утвержденный Минздравом 02.08.2002 г.), по данным справочно-правовой системы КонсультантПлюс, опубликован не был, следовательно, ставится под сомнение легитимность использования данного документа в работе. Вышеуказанный документ гласит, что испытания для выдачи ТП на кабинет и его продление осуществляются персоналом испытательной лаборатории рентгеновского центра региона, функционирующего при службе главного специалиста по лучевой диагностике (главного рентгенолога) региона. ТП является обязательным документом каждого рентгеновского кабинета.

¹ «Технический паспорт на рентгеновский кабинет» (утв. Минздравом 02.08.2002 г.) [Technical passport for the X-ray room (approved by the Ministry of Health 08/02/2002)](In Russ.)]

Сомов Сергей Сергеевич

Центр гигиены и эпидемиологии в Самарской области

Адрес для переписки: 443079, г. Самара, проезд Георгия Митирева, д. 1; E-mail: 1-doz@mail.ru

Требования к обязательному наличию ТП закреплены в СанПиН 2.6.1.1192-03². Вместе с тем, официально опубликованных документов, предъявляющих требования к самим ТП, а также к организации и персоналу, осуществляющим их выдачу, нет. Следует отметить, что некоторые испытательные лаборатории рентгеновских центров не имеют аттестата аккредитации, а персонал – соответствующей квалификации. Отсутствие документа, предъявляющего требования к ТП рентгеновских кабинетов, не позволяет проконтролировать корректность проведенных измерений и сведений, отраженных в ТП.

Цель исследования – оценка актуальности и необходимости ТП на рентгеновский кабинет и согласования проекта рентгеновского кабинета с рентгенорадиологическим отделением (РРО) в свете действующего санитарного законодательства.

Задачи исследования

1. Сопоставить содержимое ТП с действующим санитарным законодательством.
2. Оценить необходимость согласования проекта рентгеновского кабинета с РРО.
3. Выявить дублирование требований ТП и согласования с РРО с действующим санитарным законодательством.

Материалы и методы

В связи с дискуссией о необходимости оформления ТП или возможной перспективы отмены ТП, которая остро развилась в 2020 г., были проанализированы ТП, представленные на экспертизы медицинскими организациями в рамках оформления санитарно-эпидемиологических заключений (некорректно оформленные ТП возвращались заявителям для приведения в надлежащий вид, для экспертизы использовался уже конечный вариант). Всего за 2020 г. в рамках проведения санитарно-эпидемиологических экспертиз проанализировано 136 ТП.

В ходе анализа ТП учитывались данные, которые могли тем или иным образом влиять на соответствие/несоответствие конечного результата экспертизы на деятельность с источниками ионизирующего излучения (ИИИ). В случае расхождения сведений, отраженных в других документах организации, информация перепроверялась с целью определения её как ложной/истинной. Учитывалась и анализировалась следующая информация, отраженная в ТП: тип ИИИ и характер его размещения, номенклатура средств индивидуальной защиты, сопоставлялись все данные ТП (адрес, информация об ИИИ, площади помещений рентгеновского кабинета, наличие и характер смежных помещений) с фактическими данными, выявленными в процессе проведения санитарно-эпидемиологической экспертизы.

Результаты и обсуждение

Анализ ТП при работе по проведению санитарно-эпидемиологических экспертиз на условия выполнения работ при осуществлении деятельности в области использования источников ионизирующего излучения (генерирующих) показал, что зачастую данные документы содержат некорректные сведения. Как показывает практика, не все рентгеновские кабинеты, имеющие действующий ТП, соответствуют требованиям санитарного законодательства. Сведения, отраженные в ТП, периодически не являются достоверными и имеют расхождения с остальной документацией на рентгеновский кабинет.

Всего за 2020 г. в рамках проведения санитарно-эпидемиологических экспертиз проанализировано 136 ТП. Из них 50 содержат различного рода неточности и недостоверные данные, начиная от несоответствия открывания дверей и номенклатуры средств защиты требованиям санитарного законодательства и заканчивая грубыми нарушениями, такими как:

- размещение процедурной рентгеновского кабинета смежно с палатами для детей (что не соответствовало действительности: под процедурной были иные помещения);
- размещение дентального аппарата с цифровой обработкой изображения, рабочая нагрузка которого превышает 40 (мА × мин.)/нед., смежно с жилым помещением (что не соответствовало действительности: над процедурной была крыша, а не жилая квартира);
- размещение ИИИ в стоматологическом кабинете без окна, площадью 9,8 м².

Также распространены неточности в заводских номерах рентгеновских аппаратов; наличие комнаты управления там, где её нет; отсутствие помещений сверху процедурной, при наличии этажа над процедурной; указание помещения фотолаборатории в учреждениях, давно перешедших на цифровые приемники изображения и перепрофилировавших помещения с проявочными машинами.

По данным единого реестра аккредитованных лиц ФГИС Росаккредитация (<https://pub.fsa.gov.ru/ral>), на дату написания данной статьи 7 РРО в РФ имеют действующие аттестаты аккредитации, что свидетельствует о том, что многие испытательные лаборатории рентгеновских центров пренебрегают получением аттестата аккредитации – данный факт не позволяет использовать оформленные ими протоколы при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы. Согласно закону № 412-ФЗ от 28.12.2013 г. «Об аккредитации в национальной системе аккредитации»³, проверка «технического состояния рентгенодиагностической аппаратуры (РДА), устройств для проявления, фиксирования и сушки рентгеновских пленок, дополнительного оборудования и принадлежностей для осуществления специальных видов рентгенодиагности-

² СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.1192-03 «Hygienic requirements for the design and operation of X-ray rooms, apparatus and X-ray examinations (In Russ.)], СанПиН 2.1.3.2630-10 «Санитарно-гигиенические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность» [Sanitary Regulations and Standards 2.1.3.2630-10 «Sanitary and hygienic requirements for organizations carrying out medical activities» (In Russ.)]

³ Закон № 412-ФЗ от 28.12.2013 г. «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» [Federal Law of 12/28/2013 412-FZ «On accreditation in the national accreditation system» (In Russ.)]

ки, средств защиты от ионизирующего излучения рабочих мест персонала кабинета и примыкающих к кабинету помещений и подтверждающий соответствие их характеристик нормативно-технической документации и отечественным стандартам» может осуществляться персоналом любой аккредитованной в установленном порядке на данный вид исследований испытательной лабораторией, а не только персоналом испытательной лаборатории рентгеновского центра [2]. Организациям приходится организовывать проведение повторных измерений в аккредитованных организациях, что создает дополнительную финансовую нагрузку на медицинские учреждения и увеличивает сроки получения разрешительных документов на деятельность с ИИИ. Отсутствие документа, регламентирующего ТП, не позволяет предъявить к ним какие-либо требования. Однако, поскольку санитарное законодательство обязывает организации иметь действующий ТП на рентгеновский кабинет, администрация вынуждена обращаться за получением данного документа, не имеющего, по сути, информационной ценности.

Одним из требований санитарного законодательства при приемке рентгеновского кабинета в эксплуатацию является наличие технологического проекта на рентгеновский кабинет, согласованного с РРО. Следует отметить, что организации, проектирующие рентгеновский кабинет, должны получить лицензию на данный вид деятельности в Управлении Роспотребнадзора, что обязывает проектные организации иметь в штате соответствующий квалифицированный персонал. Моделируется ситуация, при которой организация, имеющая соответствующее разрешение и обученный персонал, направляется согласовывать проектные материалы с РРО, не имеющим лицензии на размещение ИИИ, зачастую не уполномоченным проводить экспертную оценку проектных материалов и не имеющим персонала с необходимым образованием для данного вида оценок.

План размещения рентгеновского оборудования, состав и площади помещений рентгеновского кабинета, их высота и внутренняя отделка, смежные с процедурной рентгеновского кабинета помещения, указанные в ТП, по сути своей являются краткой выдержкой проектных материалов. Перечень средств радиационной защиты, противопожарного оборудования и пр. в обязательном порядке контролируются сотрудниками Роспотребнадзора при проведении проверок и сотрудниками Центров гигиены и эпидемиологии при проведении санитарно-эпидемиологических экспертиз. Вероятно, оформление ТП организациями, подведомственными Роспотребнадзору, и/или частными структурами (ООО/ПАО и т.д.), имеющими специальные разрешения на данные виды работ (аттестат аккредитации ИЛЦ/ОИ, лицензия на размещение ИИИ), позволило бы убрать «монополию» на ТП и подтол-

кнуть РРО к получению вышеуказанных документов, что в конечном счете существенно расширило бы функционал РРО и повысило бы юридическую ценность ТП. При внесении изменений и улучшений в систему технической паспортизации кабинетов следует учитывать, что данные, содержащиеся в ТП, дублируются в остальной документации на рентгеновский кабинет, требования к которой закреплены в санитарном законодательстве, что в целом ставит под сомнение необходимость ТП как обязательного документа. Следует отметить, что отмена ТП и согласования не должна затронуть кадровый состав РРО, а наоборот, подтолкнет данные подразделения к получению аттестата аккредитации (у кого его нет) и развитию направлений радиационного контроля (дозиметрия персонала, проверка эксплуатационных параметров и т.п.), что в конечном счете будет способствовать развитию данных направлений.

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что требование обязательного наличия ТП на рентгеновский кабинет, равно как и обязательность согласования проекта рентгеновского кабинета с РРО в свете современных реалий являются излишними требованиями к медицинским организациям, эксплуатирующим ИИИ. Таким образом, в перспективе развития санитарного законодательства отмена вышеуказанных требований никак не скажется на санитарном благополучии населения. Вместе с тем, те нормируемые параметры, которые изначально закладывались в эти требования, продолжат контролироваться, а дублирование требований исключится.

Литература

1. Плаутин О.Н. Организация деятельности, ведение документации по безопасности в отделениях (кабинетах) лучевой диагностики. М.: Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 2020. С. 13.
2. Румянцева А.И., Тарасова А.В. О проекте новых санитарных правил «Радиационная безопасность при обращении с медицинскими рентгеновскими аппаратами и проведении рентгенологических процедур». Сборник трудов конференции «Российская гигиена – развивая традиции, устремляемся в будущее», Москва, 17-18 ноября 2017. М., 2017. С. 766-768.
3. Шевцов В.И. Подготовка документов для получения лицензии на право применения источников ионизирующего излучения как элемент системы радиационной безопасности медицинской организации. Сборник трудов конференции «Фундаментальные и прикладные науки сегодня», Москва, 2018. М., 2018. С. 63-68.

Поступила: 30.10.2020 г.

Березин Игорь Иванович – заведующий кафедрой общей гигиены, доктор медицинских наук, профессор Самарского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара, Россия

Сомов Сергей Сергеевич – заведующий отделением радиационной гигиены, врач по радиационной гигиене, Центр гигиены и эпидемиологии в Самарской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес для переписки: 443079, г. Самара, проезд Георгия Митирева, 1; E-mail: 1-doz@mail.ru

Якушева Ксения Владимировна – врач по общей гигиене отделения радиационной гигиены, Центр гигиены и эпидемиологии в Самарской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Самара, Россия

Для цитирования: Березин И.И., Сомов С.С., Якушева К.В. Анализ актуальности оформления технического паспорта на рентгеновский кабинет медицинской организации и согласования плана размещения рентгеновского оборудования с рентгенорадиологическим отделением // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 79–82. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-79-82

Evaluation of the applicability of the X-ray room technical passports in the medical facilities and approval of the X-ray department technical plans by the local radiological authorities

Igor I. Berezin ¹, Sergey S. Somov ², Kseniya V. Yakusheva ²

¹ Samara State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russia

² Center of Hygiene and Epidemiology in the Samara Region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Samara, Russia

The technical passport for the X-ray room in accordance with the current sanitary legislation is a mandatory document certifying the technical condition of X-ray diagnostic equipment, devices for developing, fixing and drying X-ray films, additional equipment and accessories for performing special types of X-ray diagnostics, means of protection against ionizing radiation of workplaces of the office staff and adjacent to the office of the premises and confirming the compliance of their characteristics with the normative and technical documentation and domestic standards. The purpose of this work was to assess the relevance and necessity of issuing a technical passport for the X-ray room and to coordinate the project of the X-ray room with the X-ray department in the light of the current sanitary legislation. Registration of a technical passport by organizations that have special permits for these types of work, and not only by the X-ray and radiological department, would increase the legal value of the technical passport. The information contained in the technical passport is duplicated in the rest of the documentation for the X-ray room, the requirements for which are enshrined in the sanitary legislation, which generally casts doubt on the need for a technical passport as a mandatory document.

Key words: technical passport, X-ray room, hygienic norms, medical facility

References

1. Plautin ON. Management of the activities and records on radiation safety in the X-ray diagnostics departments (rooms). Moscow: Scientific-practical clinical center of diagnostics and telemedical technologies of the Department of Healthcare of Moscow; 2020. P. 13. (In Russian).
2. Rumyantseva AI, Tarasova AV. On the project of new sanitary rules «Radiation safety for the use of medical X-ray units and conduction of X-ray examinations». Conference proceedings «Russian hygiene – developing traditions opting for the future», Moscow, November 17-18, 2017. Moscow, 2017. P. 766-768. (In Russian).
3. Shevtsov VI. Preparation of the documents for the license on the right of use of sources of ionizing exposure as the element of the system of the radiation safety of the medical facility. Conference proceedings «Fundamental and applied sciences today». Moscow, 2018. P. 63-68. (In Russian).

Received: October 30, 2020

Igor I. Berezin – Head of the Department of General Hygiene, Doctor of Medical Sciences, Professor, Samara State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russia

For correspondence: Sergei S. Somov – Head of the Department of Radiation Hygiene, Doctor of Radiation Hygiene, Federal Hygiene and Epidemiology Centre of the Samara Region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Georgy Mitireva str., 1, Samara, 443079, Russia; E-mail: 1-doz@mail.ru)

Kseniya V. Yakusheva – General Hygiene Doctor, Department of Radiation Hygiene, Federal Hygiene and Epidemiology Centre of the Samara Region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Samara, Russia

For citation: Berezin I.I., Somov S.S., Yakusheva K.V. Evaluation of the applicability of the X-ray room technical passports in the medical facilities and approval of the X-ray department technical plans by the local radiological authorities. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 79-82. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-79-82

Sergey S. Somov

Center of Hygiene and Epidemiology in the Samara Region

Address for correspondence: Georgy Mitireva str., 1, Samara, 443079, Russia; E-mail: 1-doz@mail.ru

Предварительная оценка доз облучения пациентов при химиоэмболизации опухолей печени

З.Я. Вагидова¹, А.А. Водоватов^{1,2}, И.К. Романович¹, А.А. Станжевский³, А.А. Поликарпов³

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. академика А.М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

Целью данной работы была оценка эффективных доз пациентов при химиоэмболизации опухолей печени. В ходе исследования были собраны параметры протоколов проведения химиоэмболизации печени для 67 пациентов на базе отделения ангиографии Российского научного центра радиологии и хирургических технологий им. академика А.М. Гранова. Параметры собирались путем их непосредственной регистрации в специально разработанную анкету при проведении исследования и экспортировались из файлов цифровых изображений в формате DICOM с предварительной анонимизацией. Моделирование облучения пациентов для расчета эффективной дозы производилось с помощью программного обеспечения РСХМС 2.0. Медианные значения параметров проведения исследования (минимальные и максимальные значения) оказались следующими: произведение дозы на площадь за все исследование – 6,1 Гр×см² (3,4–693 Гр×см²), время просвечивания пациента в режиме рентгеноскопии – 7,5 мин (2–28,3 мин); расчетные значения доз облучения для пациентов составили: эффективная доза – 11,7 мЗв (0,6–132 мЗв), максимальная поглощенная доза в коже 0,3 Гр (0,02–3,5 Гр). Установлено, что у 3 пациентов эффективные дозы превысили 100 мЗв. В двух случаях суммарное произведение дозы на площадь превысило контрольные значения для предотвращения детерминированных эффектов в коже, при этом тканевых реакций в коже зафиксировано не было.

Ключевые слова: интервенционные радиологические вмешательства, оптимизация, эффективная доза, химиоэмболизация печени, произведение дозы на площадь.

Введение

Одним из направлений применения интервенционных радиологических вмешательств является лечение онкологических заболеваний. Более 85% от всех первичных злокачественных опухолей печени составляет гепатоцеллюлярная карцинома, являющаяся третьей по распространенности причиной смерти от онкологических заболеваний в мире [1]. Для лечения гепатоцеллюлярного рака во всем мире рекомендована химиоэмболизация печеночной артерии (ХЭПА), которая включает в себя эмболизацию печеночной артерии, питающей опухоль, веществом, содержащим химиопрепарат, под контролем рентгеновского излучения [2, 3]. Главным преимуществом ХЭПА является возможность применения данного метода в лечении неоперабельных форм гепатоцеллюлярного рака [3]. Однако данное исследование может быть ассоциировано с высокими дозами облучения пациентов: по данным зарубежных источников, эффективные дозы

пациентов могут превышать 200 мЗв [4–8]. Аналогичные оценки доз в отечественной литературе нам обнаружить не удалось.

Цель исследования – ретроспективная оценка эффективных доз пациентов при проведении ХЭПА. В задачи исследования входил сбор данных о физико-технических и геометрических параметрах проведения ХЭПА и выполнение расчетов эффективных доз пациентов.

Материалы и методы

Исследование было выполнено на базе отделения ангиографии ФГБУ «РНЦРХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России. Данные в отношении физико-технических и геометрических параметров проведения ХЭПА (сентябрь – октябрь 2019 г.) были собраны для 67 пациентов (31 мужчин, 36 женщин). Средний возраст пациентов составил 59,5±12,3 (30–85) лет.

Вагидова Зумруд Якубовна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: zumrudvagidova@gmail.com

Исследования выполнялись на рентгеновском аппарате Siemens Artis Zee Biplane «С-дуга»: расположение рентгеновской трубки – под столом, приемник – плоская панель непрямого преобразования. Непосредственно в ходе проведения ХЭПА для каждого пациента в специально разработанную анкету фиксировались проекция облучения, расстояние источник – приемник, размер поля облучения, анодное напряжение, произведение дозы на площадь (ПДП), количество выполненных рентгеновских снимков, общее время облучения пациентов и скорость проведения рентгеноскопии (число кадров в секунду). Собранные данные верифицировались и дополнялись информацией из дозовых отчетов и цифровых изображений в формате DICOM. Средние значения некоторых параметров проведения данных видов исследования составили: толщина общей фильтрации – 2,5 мм Al и 0,3 мм Cu; размер поля облучения на приемнике – 30×40 см, расстояние источник – приемник 110 см. Позиционирование пациента, структура исследования, скорость рентгеноскопии и прочие параметры процедуры выбирались рентгенохирургом индивидуально для каждого пациента, исходя из состояния пациента и предварительного диагноза.

Измерения ПДП проводилось клиническим дозиметром DIAMENTOR M4 (Германия), откалиброванным представителем компании-производителя.

Моделирование облучения пациентов для расчета органических и эффективных доз производилось с использованием программного обеспечения (ПО) РСХМС 2.0 (Финляндия, STUK) [9] с использованием геометрической модели, в которой облучение пациента было представлено одним полем [4–8]. Координаты центра поля излучения были определены по результатам анализа архивов цифровых изображений в формате DICOM совместно с персоналом отделения в системе координат ПО РСХМС 2.0: X=-7, Y=8, Z=33, в задней косой левой проекции (угол 90° в системе координат РСХМС 2.0). Центр поля облучения соответствовал расположению центра печени.

Абсолютные значения эффективных доз рассчитывались на основе измеренного значения ПДП с использованием тканевых взвешивающих коэффициентов из 60 и 103 Публикаций МКРЗ [10, 11]. Для сравнения был выполнен расчет эффективных доз и максимальных поглощенных доз в коже (МПДК) пациентов с использованием коэффициентов перехода от ПДП к эффективной дозе и МПДК для интервенционных исследований брюшной полости¹.

Анализ данных осуществляли статистическими методами с использованием программного обеспечения Statistica 10. Проверку распределений на нормальность проводили с использованием тестов Колмогорова – Смирнова (с поправкой на значимость Лиллефорса) и Шапиро – Уилка. Парное сравнение отдельных параметров проводили с использованием U-теста Манна – Уитни. Сравнение выборок осуществляли с использованием однофакторного дисперсионного анализа с использованием критериев Краскелла – Уоллиса и медианного теста. Результаты считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Медианные значения основных параметров проведения ХЭПА (табл. 1) составили: произведение дозы на площадь за все исследование – 6,1 Гр×см² (3,4–693,3 Гр×см²), время просвечивания пациента в режиме рентгеноскопии – 7,5 мин (2–28,3 мин). Медиана эффективной дозы при расчете в ПО РСХМС 2.0 составила 11,7 мЗв (0,6–132,5 мЗв), а МПДК – 0,3 Гр (0,02–3,5 Гр).

Эффективные дозы пациентов, определенные в данной работе, сопоставимы с данными из зарубежных источников (табл. 2). Следует отметить, что распределение эффективных доз у пациентов описывается логнормальным законом распределения. У 3 пациентов эффективные дозы превысили 100 мЗв, также у 2 пациентов превышены контрольные значения ПДП для предотвращения

Основные параметры проведения ХЭПА и результаты расчетов эффективных доз и МПДК

Таблица 1

[Table 1]

The main parameters of the TACE and results of calculations of effective doses and MSD]

Параметр [Parameter]	Среднее / медиана [Mean/ Median]	Минимум – максимум [Minimum – maximum]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
Время непрерывного просвечивания пациента (мин) [Fluoroscopy duration (min)]	10/7,5	2–28,3	6,7
ПДП суммарная (Гр×см ²) [DAP (Gy×cm ²)]	12,3/6,1	3,4–693,3	15,4
Напряжение на рентгеновской трубке (кВ) [Voltage (kV)]	66/66	66–68	0,7
Эффективная доза (мЗв) [Effective dose (mSv)]	23,7/11,7	0,6–132,5	29,6
МПДК, Гр [MSD (Gy)]	0,6/0,3	0,02– 3,5	0,8

¹ Методические указания МУ 2.6.1.3584-19. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. М.: Роспотребнадзор, 2019. 32 с. [Methodical guidelines MU 2.6.1.3584-19. Control of the patient effective doses from X-ray diagnostic examinations. Moscow: Rosпотребнадзор; 2019. 32 p. (In Russ.)]

Сравнение эффективных доз пациентов при проведении ХЭПА

Таблица 2

[Table 2]

Comparison of effective doses of patients during the TACE

Исследование [Publication]	Медианные значения (минимум – максимум) эффективной дозы, мЗв [Median (minimum-maximum) effective dose, mSv]			Медианные значения (минимум – максимум) МПДК, Гр [Median (minimum-maximum) MSD, Gy]	Количество пациентов в выборке [Number of patients in sample]
	103 публикация МКРЗ [103 Publication ICRP]	60 публикация МКРЗ [60 Publication ICRP]	МУ 2.6.1.3584-19 [Guidelines 2.6.1.3584-19]		
Собственные исследования [Present study]	11,7 (1–132,5)	12,4 (1,1–141)	9,8 (1–111)	0,3 (0,02–3,5)	67
E. Karavasilis, 2015 [6]	11,2 (4,2–19,6)				32
E. Efstathopoulos, 2006 [1]	31 (22,5–39,5)				6
T. Dauer, 2011[4]		44 (2–255)		2,4 (0,2–9,5)	113
W.J. Garzon, 2015 [7]	42,4 (20,1–112)			1,0 (0,2–2,4)	48
M. Brambilla, 2020 [5]	61,6 (17,8–214)				48

детерминированных эффектов в коже. Однако, согласно данным ФГБУ «РНЦРХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России, тканевых реакций у пациентов выявлено не было. Максимальная эффективная доза в данном исследовании составила 132 мЗв, в зарубежных исследованиях – до 255 мЗв [4]. Широкий диапазон значений эффективных доз пациентов связан с отсутствием стандартизованных методик и различиями в параметрах проведения исследований, антропометрических характеристиках и состоянии пациентов.

Эффективные дозы пациентов, рассчитанные с использованием коэффициентов перехода из МУ 2.6.1.3584-19, оказались достоверно ниже (тест Манна – Уитни, $p < 0,05$) по сравнению с результатами расчета в нашей работе. Однако эти различия не превышают 20%, что подтверждает возможность использования коэффициентов перехода, представленных в МУ 2.6.1.3584-19, для оценки эффективных доз пациентов в рамках ЕСКИД. Эффективные дозы, рассчитанные в настоящей работе, с использованием коэффициентов w_T из 60 и 103 Публикации Публикаций МКРЗ, статистически значимо не различаются (тест Манна – Уитни, $p > 0,05$).

К ограничениям данного исследования относятся:

- неучет влияния антропометрических характеристик пациентов (роста и массы тела) на значения доз в связи с отсутствием таких данных в цифровых архивах изображений;

- применение упрощенной модели облучения пациентов, использующей одно поле облучения и не учитывающей процесс введения катетера через бедренную артерию и продвижение катетера к печени;

В настоящее время проводится дополнительный расширенный сбор данных, направленный на уточнение характеристик облучения пациентов при проведении ХЭПА.

Заключение

В работе были рассчитаны эффективные дозы облучения пациентов в ФГБУ «РНЦРХТ им. ак. А.М. Гранова» Минздрава России при проведении ХЭПА: среднее значение

эффективной дозы составило $23,7 \pm 29,6$ мЗв, МПДК – $0,3 \pm 0,8$ Гр. Распределение эффективных доз у пациентов описывается логнормальным законом распределения. Для 3 пациентов их значения превышали 100 мЗв. В 2 случаях были превышены контрольные значения ПДП ($600 \text{ Гр} \times \text{см}^2$) для предотвращения детерминированных эффектов в коже, при этом тканевые реакции зафиксированы не были. Различия в дозах у пациентов, выявленные в процессе исследования, могут быть объяснены вариативностью параметров проведения исследования.

Необходим дальнейший анализ параметров проведения данного исследования и, возможно, уточнение модели облучения пациентов с учетом антропометрических особенностей пациентов, геометрии облучения, распределения ПДП во время исследования. Такой анализ позволит уточнить значения коэффициентов перехода от ПДП к эффективной дозе для расчета радиационных рисков и оптимизации радиационной защиты при проведении этой процедуры, связанной со значительными индивидуальными дозами у пациентов.

Литература

1. Chemoembolization T. Quality improvement guidelines for transarterial chemoembolization and embolization of hepatic malignancy // Journal of Vascular and Interventional Radiology: JVIR. 2017. Vol. 28. P. 1210-1223.
2. Полежаев А.С., Таразов П.Г., Поликарпов А.А. Гранов Д.А. Химиоэмболизация печеночной артерии в лечении больных гепатоцеллюлярным раком на фоне выраженного цирроза печени // Вестник хирургии имени И.И. Грекова. 2019. Т. 178, №. 6. С. 29-35.
3. Гранов Д.А., Полежаев А.С., Таразов П.Г., и др. Химиоэмболизация печеночных артерий у больных гепатоцеллюлярным раком на фоне цирроза перед трансплантацией печени: прогностическое значение концентрации альфафетопротеина // Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2021. Т. 22, №. 4. С. 52-57. DOI: 10.15825/1995-1191-2020-4-52-57
4. Dauer L.T., Thornton R., Boylan D.C., et al. Organ and effective dose estimates for patients undergoing hepatic arterial embolization for treatment of liver malignancy //

- Medical Physics. 2011. Vol. 38, №. 2. P. 736-742. DOI: 10.1118/1.3533685.
5. Brambilla M., Cannillo B., Guzzardi G., et al. Conversion factors for effective dose and organ doses with the air kerma area product in patients undergoing percutaneous transhepatic biliary drainage and trans arterial chemoembolization // *Physica Medica*. 2020. Vol. 72. P. 7-15. DOI: 10.1016/j.ejmp.2020.03.003.
 6. Karavasili E., Dimitriadis A., Gonis H., et al. Dose coefficients for liver chemoembolisation procedures using Monte Carlo code // *Radiation Protection Dosimetry*. 2016. Vol. 172, №. 4. P. 409-415. DOI: 10.1093/rpd/ncv492.
 7. Garzón W.J., Kramer R., Khoury H.J., et al. Estimation of organ doses to patients undergoing hepatic chemoembolization procedures // *Journal of Radiological Protection*. 2015. Vol. 35, №. 3. P. 629.
 8. Hidajat N., Wust P., Felix R., Schröder R.J. Radiation exposure to patient and staff in hepatic chemoembolization: risk estimation of cancer and deterministic effects // *Cardiovascular and interventional radiology*. 2006. Vol. 29, №. 5. P. 791-796.
 9. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. 2nd Ed. STUK, Finland; 2008. 49 p.
 10. International Commission on Radiological Protection 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 Ann ICRP 1991; 21:1-201.
 11. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann ICRP. 2007. Vol 37. P. 1-332.
 12. Efsthathopoulos E.P., Brountzos E.N., Alexopoulou E., et al. Patient radiation exposure measurements during interventional procedures: a prospective study // *Health Physics*. 2006. Vol. 91, №. 1. P. 36-40. DOI: 10.1097/01.HP.0000198783.10855.51.

Поступила: 12.05.2021 г.

Вагидова Зумруд Якубовна – младший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: zumrudvagidova@gmail.com

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент, кафедра общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Станжевский Андрей Алексеевич – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

Поликарпов Алексей Александрович – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отделения отдела интервенционной радиологии и оперативной хирургии, профессор кафедры радиологии, хирургии и онкологии Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Вагидова З.Я., Водоватов А.А., Романович И.К., Станжевский А.А., Поликарпов А.А. Предварительная оценка доз облучения пациентов при химиоэмболизации опухолей печени // *Радиационная гигиена*. 2021. Т. 14, № 2. С. 83–88. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-83-88

Preliminary assessment of effective doses for patients undergoing hepatic arterial chemoembolization

Zumrud Ya. Vagidova¹, Aleksandr V. Vodovarov^{1,2}, Ivan K. Romanovich¹, Andrey A. Stanzhevsky³, Aleksey A. Polikarpov³

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

³ A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, Saint-Petersburg, Russia

The aim of the study was to estimate the patient effective doses from hepatic arterial chemoembolization. The study was based on the parameters of the protocols of liver chemoembolization collected for 67 patients in Angiography department of the «A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies» of the Ministry of Health of the Russian Federation. The parameters were collected using a dedicated questionnaire and exported from digital image files in DICOM format with preliminary anonymization. The simulation of patient exposure was performed using PCXMC 2.0 software. The median values of the patient dose-related quantities (minimum and maximum values) were as follows: total dose–area product – 6.1 Gy×cm² (3.4–693 Gy×cm²), fluoroscopy time – 7.5 min (2.0–28.3 min), effective dose – 11.7 mSv (0.6–132 mSv). For three patients effective doses exceeded 100 mSv. In two cases, total dose–area product exceeded the control values for deterministic effects in the skin. No tissue reactions were identified for the whole patient sample.

Key words: interventional procedures, optimization, effective dose, hepatic arterial chemoembolization, dose–area product.

References

1. Chemoembolization T. Quality improvement guidelines for transarterial chemoembolization and embolization of hepatic malignancy. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. JVIR. 2017; 28: 1210–1223.
2. Polekhin AS, Tarazov PG, Polikarpov AA, Granov DA. Transcatheter arterial chemoembolization in the treatment of patients with hepatocellular carcinoma on advanced liver cirrhosis. *Vestnik khirurgii imeni I.I. Grekova = Grekov's Bulletin of Surgery*. 2019;178(6): 29–35. (In Russian).
3. Granov DA, Polekhin AS, Tarazov PG, Rutkin IO, Tileubergenov II, Borovik VV. Transcatheter hepatic arterial chemoembolization in cirrhotic patients with hepatocellular carcinoma before liver transplantation: the prognostic value of alpha-fetoprotein concentrations. *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov = Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2021;22(4): 52–57. (In Russian) DOI: 10.15825/1995-1191-2020-4-52-57
4. Dauer LT, Thornton R, Boylan DC, Holahan B, Prins R, Quinn B, et al. Organ and effective dose estimates for patients undergoing hepatic arterial embolization for treatment of liver malignancy. *Medical Physics*. 2011;38(2): 736–742. DOI: 10.1118/1.3533685.
5. Brambilla M, Cannillo B, Guzzardi G, D'Alessio A, Galbiati A, Matheoud R, et al. Conversion factors for effective dose and organ doses with the air kerma area product in patients undergoing percutaneous transhepatic biliary drainage and trans arterial chemoembolization. *Physica Medica*. 2020;72: 7–15. DOI: 10.1016/j.ejmp.2020.03.003.
6. Karavasilis E, Dimitriadis A, Gonis H, Pappas P, Georgiou E, Yakoumakis E. Dose coefficients for liver chemoembolisation procedures using Monte Carlo code. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;172(4): 409–415. DOI: 10.1093/rpd/ncv492.
7. Garzón WJ, Kramer R, Khoury HJ, De Barros VSM, Andrade G. Estimation of organ doses to patients undergoing hepatic chemoembolization procedures. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(3): 629.
8. Hidajat N, Wust P, Felix R, Schröder RJ. Radiation exposure to patient and staff in hepatic chemoembolization: risk estimation of cancer and deterministic effects. *Cardiovascular and interventional radiology*. 2006;29(5): 791–796.
9. Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. 2nd Ed. STUK, Finalnd; 2008. 49 p.
10. International Commission on Radiological Protection 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann ICRP. 1991;21:1–201.
11. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007;37: 1–332.
12. Efstathiopoulos EP, Brountzos EN, Alexopoulou E, Argentos S, Kelekis DA, Raptou PD, et al. Patient radiation exposure measurements during interventional procedures: a prospective study. *Health Physics*. 2006;91(1): 36–40. DOI: 10.1097/01.HP.0000198783.10855.51.

Zumrud Ya. Vagidova

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: zumrudvagidova@gmail.com

Received: May 12, 2021

For correspondence: Zumrud Ya. Vagidova – junior researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: zumrudvagidova@gmail.com)

Aleksandr V. Vodovatov – Ph.D., Head of Protection Laboratory, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Ivan K. Romanovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Andrey A. Stanzhevsky – M.D, Deputy Director for Research, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, Saint-Petersburg, Russia

Aleksey A. Polikarpov – Doct. of Med. Sci., Main scientist researcher of Interventional Radiology and Surgical Technologies Department, Professor of the Department Radiology, Surgery and Oncology Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies of Healthcare Ministry of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Vagidova Z.Ya., Vodovatov A.V., Romanovich I.K., Stanzhevsky A.A., Polikarpov A.A. Preliminary assessment of patient doses from hepatic arterial chemoembolization. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 83-88. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-83-88

Дозиметрия нейтронного излучения на рабочих местах персонала АО «Институт реакторных материалов»

М.Д. Пышкина^{1,2}, А.В. Васильев², А.А. Екидин², Е.И. Назаров²,
М.А. Романова^{1,3}, В.И. Гуринович⁴, Д.И. Комар⁴, В.А. Кожемякин⁴

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

² Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

³ Институт реакторных материалов, Заречный, Россия

⁴ Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», Минск, Беларусь

В случае отличия нейтронных полей на рабочих местах персонала от нейтронных полей, в которых проводится поверка индивидуальных дозиметров, возникает возможность дополнительной погрешности в оценке таких дозиметрических величин, как амбиентный эквивалент дозы, индивидуальный эквивалент дозы или эффективная доза. Для учета энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения и геометрии облучения работников необходимо проводить исследования характеристик полей нейтронного излучения на рабочих местах персонала. С целью получения условно истинных уровней облучения персонала нейтронным излучением на объектах использования атомной энергии проведены исследования энергетического и углового распределения плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения получено с помощью многосферного дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 и набором полиэтиленовых сфер-замедлителей. Угловое распределение плотности потока нейтронного излучения оценено по результатам измерений накопленной дозы нейтронного излучения индивидуальными термолюминесцентными дозиметрами, размещенными на 4 вертикальных плоскостях гетерогенного фантома человека. Результаты измерений энергетического и углового распределения плотности потока нейтронного излучения позволили оценить условно истинные значения амбиентного и индивидуального эквивалентов доз. Рассчитанные условно истинные значения отличаются от измеренных величин от 0,7 до 13,5 раз для амбиентного эквивалента дозы и от 6,3 до 100 раз для индивидуального эквивалента дозы. С целью уменьшения погрешности оценки эффективной дозы персонала с помощью индивидуальных дозиметров были определены поправочные коэффициенты. Для различных рабочих мест и типов индивидуальных дозиметров поправочные коэффициенты находятся в диапазоне значений от 0,01 до 0,16.

Ключевые слова: нейтроны, дозиметр-радиометр, поправочный коэффициент, геометрия облучения.

Введение

Дозиметрия нейтронного излучения является сложной и нерешенной полностью задачей. Энергетическое распределение реальных нейтронных полей в помещениях ядерной установки, за биологической защитой, спектры нейтронного излучения свежего и/или отработавшего ядерного топлива, радиоизотопных источников разнообразны по форме и варьируют по энергии от сотых долей эВ (тепловые нейтроны) до десятков МэВ (быстрые нейтроны). Широкий диапазон энергий нейтронов в большинстве случаев приводит к искаженной оценке индивидуальной дозы персонала из-за энергетической зависимости отклика дозиметров. Наиболее точные оценки эффективной дозы нейтронного излучения для персона-

ла могут быть получены с использованием информации об энергетическом распределении плотности потока нейтронного излучения и геометрии облучения работников на рабочих местах. Некоторые исследования энергетического распределения нейтронов на рабочих местах в атомной промышленности в Европе были выполнены, главным образом, при поддержке проекта EVIDOS, финансируемого Европейским союзом (ЕС). Европейскими исследователями проведены измерения энергетических и угловых распределений на реакторах типа PWR и BWR и на исследовательском реакторе BR-2 [1–11]. В РФ также проводились исследования энергетического распределения плотности потока нейтронов на ОИАЭ. В работах [12–16] представлены спектры нейтронного излучения,

Пышкина Мария Дмитриевна

Уральский федеральный университет; Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук
Адрес для переписки: 620219, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: Maria1pyshkina@gmail.com

полученные как на энергетических реакторах типа ВВЭР, РБМК и БН, так и на исследовательском реакторе ИРТ, а также на производстве по обогащению урана. Несмотря на то, что работы по определению энергетического и углового распределения плотности потока нейтронного излучения проводятся, их количества недостаточно, чтобы охарактеризовать поля нейтронного излучения на других ядерных установках подобного типа. В связи с этим определение характеристик нейтронных полей желательно проводить на всех рабочих местах всех ядерных установок.

Цель исследования – оценка эффективных доз нейтронного излучения на рабочих местах АО «Институт реакторных материалов» (АО «ИРМ») при нормальной эксплуатации реакторной установки ИВВ-2М.

Задачи исследования:

- измерить энергетическое распределение нейтронного излучения на рабочих местах;
- провести оценку условно истинного значения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) и интегральной плотности потока;
- оценить угловое распределение нейтронного излучения на рабочих местах;
- провести оценку условно истинного значения мощности индивидуального эквивалента дозы (МИЭД);
- определить значения поправочных коэффициентов, учитывающих отличие полей нейтронного излучения на рабочих местах от поверочных, и поправочных коэффициентов для перехода от операционной величины к нормируемой.

Материалы и методы

Для измерения энергетического распределения нейтронного излучения использован дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 и набором сфер-замедлителей [17]. Прибор был поверен в поле PuBe источника. Прибор предназначен для целей восстановления энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения путем измерения отклика детектора тепловых нейтронов, разработан и изготовлен в УП «АТОМТЕХ» (г. Минск, Республика Беларусь) и внесен в государственный реестр средств измерений № 29551-19. Восстановление спектра энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения выполнено на основе аттестованной методики, разработанной совместно специалистами ИПЭ УрО РАН и УП «АТОМТЕХ», номер в реестре № ФР.1.38.2020.37361. Полученные данные об энергетическом распределении плотности потока нейтронного излучения использованы для определения среднего коэффициента перехода от плотности потока к мощности амбиентного эквивалента дозы, $h^*(10)$, для каждой точки измерения, используя уравнение (1):

$$h^*(10) = \frac{\sum_i h_i^*(10) \cdot \varphi_i}{\sum_i \varphi_i}, \quad (1)$$

Где $h_i^*(10)_i$ – удельный амбиентный эквивалент дозы в i -м энергетическом диапазоне, пЗв·см² [18];

φ_i – плотность потока нейтронного излучения в i -м энергетическом диапазоне, с⁻¹·см⁻².

Для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) использованы одновременно 2 прибора дозиметрического контроля рабочих мест: МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-02 и МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06. Все приборы прошли поверку в поле PuBe источника. Условно истинное значение МАЭД и плотность потока определены с учетом восстановленного энергетического распределения плотности потока нейтронов.

Аналогичный подход использован для определения среднего значения коэффициентов перехода от плотности потока к мощности индивидуального эквивалента дозы для каждого из углов падения излучения θ : от 0° до 180° с шагом в 90°.

Угловое распределение нейтронного излучения оценено с помощью термоллюминесцентных (ТЛ) дозиметров, размещенных на 4 сторонах фантома [20] взрослого человека: спереди на груди, сзади на спине и на двух боковых сторонах, слева и справа. В каждой точке измерения фантом помещался в поле нейтронного излучения таким образом, что одна из его вертикальных сторон была обращена к преимущественному направлению падения излучения. Падение излучения на такую сторону соответствовало углу падения 0°. Падение излучения на две боковые поверхности соответствовало углу падения $\pm 90^\circ$, а падение излучения на заднюю поверхность фантома соответствовало углу падения 180°. То есть в данном эксперименте предполагалось, что человек находится на рабочем месте в одном положении, не вращается и не перемещается. В исследовании использованы ТЛ дозиметры 3 типов: ДВГН-01 [21], Harshaw 6776 [22] и Harshaw 6777 [23]. Индивидуальные дозиметры были поверены в поле PuBe источника. Консервативно принимается, что сумма показаний дозиметров одного типа на всех вертикальных сторонах фантома представляет 100% от плотности потока в данной точке. Таким образом, предполагалось, что ТЛ-дозиметр, располагающийся на передней стороне фантома, детектирует только нейтроны, которые падают на него из переднего полупространства. Предполагалось также, что энергетическое распределение нейтронов со всех сторон фантома одинаковое, так как нет возможности определить его зависимость от направления падения.

Угловое распределение было использовано для оценки условно истинного значения мощности индивидуального эквивалента дозы:

$$\dot{H}_p(10) = \dot{H}_p(10, 0^\circ) + \dot{H}_p(10, +90^\circ) + \dot{H}_p(10, -90^\circ) + \dot{H}_p(10, 180^\circ), \quad (2)$$

где $\dot{H}_p(10)$ – мощность индивидуального эквивалента дозы для углов падения излучения θ от 0 до 180° с шагом 90°, мкЗв/ч.

Индивидуальный эквивалент дозы, создаваемый нейтронами, падающими под углом θ к лицевой поверхности фантома, можно оценить как:

$$\dot{H}_p(10, \theta^\circ) = \varphi(\theta^\circ) \cdot h_p(10, \theta^\circ), \quad (3)$$

где $\varphi(\theta^\circ)$ – интегральная плотность потока для угла падения нейтронов θ° , с⁻¹·см⁻²;

$h_p(10, \theta^\circ)$ – удельный индивидуальный эквивалент дозы для угла падения нейтронов θ° , пЗв·см² [18, 19].

Результаты и обсуждение

Измерения энергетического и углового распределения плотности потока нейтронного излучения проведены в помещениях здания 103 АО «Институт реакторных материалов». В таблицах 1, 2 приведены основные характеристики нейтронного излучения, полученные для рабочих мест персонала. Условно истинное значение МАЭД рассчитано на основе данных об энергетическом распределении плотности потока нейтронного излучения. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения, полученное по аттестованной методике на рабочих местах персонала с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06, представлено на рисунке 1.

Неопределенность условно истинного значения амбиентного эквивалента дозы и плотности потока нейтронного излучения не превышают $\pm 10\%$. Из таблицы 1 видно, что результаты измерений МКС-АТ1117М с блоком

детектирования БДКН-06 близки к условно истинному значению МАЭД, в отличие от МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-02. Это связано с конструктивными особенностями приборов. МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 представляет собой детектор тепловых нейтронов, помещенный в сферу диаметром 10 дюймов, такая конструкция обеспечивает энергетическую зависимость чувствительности дозиметра, близкой к удельному амбиентному эквиваленту дозы. В случае МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-02 дозиметр представляет собой детектор тепловых нейтронов, помещенный в полиэтиленовый замедлитель цилиндрической формы с толщиной стенки порядка 3 дюймов. Такая конструкция не обеспечивает необходимую энергетическую зависимость чувствительности прибора, что приводит к переоценке амбиентного эквивалента дозы в нейтронных полях, имеющих значительный вклад тепловых и промежуточных нейтронов.

Таблица 1

Измеренные и условно истинные значения МАЭД и плотность потока в точках измерения

[Table 1]

Measured and 'true' values of $H^*(10)$ and flux density in points of interest

Места измерений [Place of Measurement]	Прибор [Instrument]	Измеренный МАЭД, мкЗв/ч [Measured AED rate, $\mu\text{Sv/h}$]	Условно истинное значение МАЭД, мкЗв/ч [True value of AED rate, $\mu\text{Sv/h}$]	Плотность потока, $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$ [Flux density, $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$]
Отм. 8,05 [Point 8.05]	МКС-АТ1117М с БДКН-02 [AT1117M with BDKN-02]	24,1 $\pm$ 2,4	13	33
	МКС-АТ1117М с БДКН-06 [AT1117M with BDKN-06]	10,8 $\pm$ 1,1		
Отм. 6,3 [Point 6.3]	МКС-АТ1117М с БДКН-02 [AT1117M with BDKN-02]	61,3 $\pm$ 6,1	15	48
	МКС-АТ1117М с БДКН-06 [AT1117M with BDKN-06]	17,9 $\pm$ 1,8		
Отм. 3,9 [Point 3.9]	МКС-АТ1117М с БДКН-02 [AT1117M with BDKN-02]	137 $\pm$ 13	51	112
	МКС-АТ1117М с БДКН-06 [AT1117M with BDKN-06]	50,9 $\pm$ 5,1		
Отм. 0,0 ГЭК [Point 0.0 HEK]	МКС-АТ1117М с БДКН-02 [AT1117M with BDKN-02]	31,0 $\pm$ 3,1	2,3	18
	МКС-АТ1117М с БДКН-06 [AT1117M with BDKN-06]	3,9 $\pm$ 0,4		
Отм. 0,0 Ремкоридор [Point 0.0 Repair corridor]	МКС-АТ1117М с БДКН-02 [AT1117M with BDKN-02]	3,7 $\pm$ 0,7	2,1	3,3
	МКС-АТ1117М с БДКН-06 [AT1117M with BDKN-06]	1,4 $\pm$ 0,4		

Таблица 2

Коэффициенты перехода от плотности потока к МАЭД и МИЭД

[Table 2]

Fluence-to-ambient dose equivalent rate and Fluence-to-individual dose equivalent rate conversion coefficients

$\text{пЗв}\cdot\text{см}^{-2}$ [$\text{pSv}\cdot\text{cm}^{-2}$]	Отм. 8,05 [Point 8.05]	Отм. 6,3 [Point 6.3]	Отм. 3,9 [Point 3.9]	Отм. 0,0 ГЭК [Point 0.0 HEK]	Отм. 0,0 Ремкоридор [Point 0.0 Repair corridor]
$h^*(10)$	109	88	126	36	178
$h_p(10,0^\circ)$	127	103	150	41	202
$h_p(10,90^\circ)$	7,4	8,3	10	1,5	15
$h_p(10,180^\circ)$	13	14	17	3,0	26

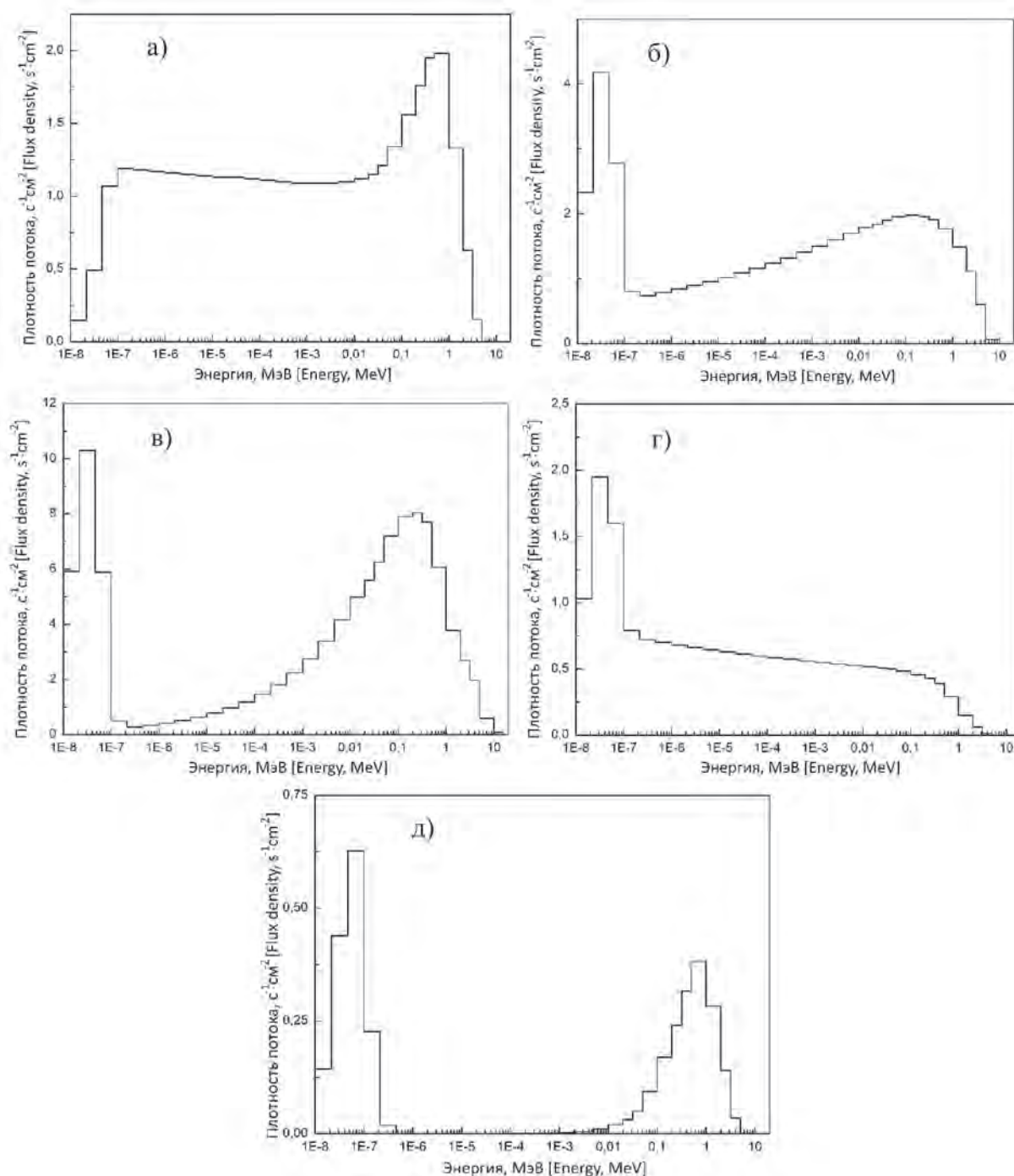


Рис. 1. Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах персонала: а) отм. 8,05 над крышкой бака аппарата, б) отм. 6,3 за биологической защитой реактора, в) отм. 3,9 за биологической защитой реактора, г) отм. 0,0 напротив горизонтального экспериментального канала (ГЭК), д) отм. 0,0 за биологической защитой реактора (Ремкоридор)

[Fig. 1. Energy distribution of neutron flux density at personnel workplaces: а) height 8.05 above tank lid, б) height 6.3 behind of reactor biological shielding, в) height 3.9 behind of reactor biological shielding, г) height 0.0 in front of the horizontal experimental channel, д) height 0.0 behind of reactor biological shielding]

В таблице 2 приведены коэффициенты перехода от плотности потока к МАЭД и МИЭД для исследованных рабочих мест в соответствии с формулой (1). Исходя из этих данных, можно сделать вывод о «жесткости» энергетического распределения плотности потока нейтронов на рабочем месте. Чем выше значение коэффициента $h^*(10)$ или $h_p(10,0)$, тем большее количество быстрых нейтронов

присутствует в спектре, и наоборот. Неопределенность коэффициентов перехода от плотности потока к МАЭД и МИЭД оценивается не более $\pm 15\%$.

Для всех спектров, приведенных на рисунке 1, характерно наличие нейтронов тепловых и промежуточных энергий. На отметке 8,05 над крышкой бака аппарата наблюдается значительный вклад быстрых нейтронов.

Предположительно это связано с тем, что нейтроны из активной зоны могут проходить 7 м замедлителя с высокой степенью снижения интенсивности. Спектр за шибером горизонтального экспериментального канала имеет значительный вклад быстрых нейтронов из активной зоны реактора, подвергшихся поглощению и рассеиванию в материале шибера, а также значительный вклад нейтронов тепловой энергии. Тепловые нейтроны появились в результате замедления быстрых нейтронов из активной зоны в материале шибера. Спектры в остальных точках измерений характерны для энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения за биологической защитой.

Для оценки углового распределения плотности потока нейтронного излучения индивидуальные ТЛ-дозиметры размещались на четырех сторонах фантома взрослого человека. Стороны фантома условно обозначены: 0° – направление преимущественного падения излучения, ±90° и 180°.

Результаты измеренных значений представлены в таблице 3.

Предполагая, что сумма показаний дозиметров одного типа представляет 100% от плотности потока в данной точки и спектр нейтронного излучения не зависит от угла падения, были определены относительные угловые распределения, представленные в таблице 4.

Согласно МУ 2.6.5.052-2017 «Дозиметрия. Определение индивидуальной эффективной дозы нейтронного излучения»: П2.6.6.1.6. Если отклонение значений от среднего значения не превышает 10%, то поле излучения считают изотропным (или ротационным, как верхней границы изотропного облучения), П2.6.6.1.7. Если показания дозиметра по нейтронному излучению в каком-либо направлении отличается более чем в 5 раз, то поле нейтронного излучения считается мононаправленным, П2.6.6.1.9. Если по характеру работы работник перемещается в поле излучения неконтролируемым образом в течение длительного промежутка времени, то

Таблица 3

МИЗД в точках измерения

[Table 3]

Individual dose equivalent rate at points of measurements				
Точка измерения [Point of measurement]		ДВГН-01, мкЗв/ч [DVGN-01, μSv/h]	Harshaw 6776, мкЗв/ч [Harshaw 6776, μSv/h]	Harshaw 6777, мкЗв/ч [Harshaw 6777, μSv/h]
Отм. 6,3 [Point 6.3]	0°	36,8	47,6	39,6
	90°	43,3	48,0	49,7
	180°	33,2	44,0	45,7
	-90°	29,1	38,3	32,3
Отм. 3,9 [Point 3.9]	0°	138	156	157
	90°	99,7	121	103
	180°	91,8	141	115
	-90°	145	191	172
Отм. 0,0 ГЭК [Point 0.0 ГЭК]	0°	13,2	10,7	-
	90°	12,9	7,1	13,3
	180°	15,5	19,9	8,9
	-90°	24,8	29,3	17,4
Отм. 0,0 Ремонткоридор [Point 0.0 Repair corridor]	0°	15,0	21,0	17,6
	90°	21,0	27,8	29,5
	180°	22,4	21,5	28,1
	-90°	22,1	13,5	25,8

Таблица 4

Угловое распределение нейтронного излучения, %

[Table 4]

Angular distribution of neutron flux density, %				
Направление [Direction]	Отм. 6,3 [Point 6.3]	Отм. 3,9 [Point 3.9]	Отм. 0,0 ГЭК [Point 0.0 ГЭК]	Отм. 0,0 Ремонткоридор [Point 0.0 Repair corridor]
0°	25	28	12	21
90°	29	20	21	29
180°	25	21	25	27
-90°	21	31	42	23

можно считать, что работник облучается в ротационном поле излучения. Исходя из данных таблицы 4, можно сделать вывод о наличии на рабочих местах изотропного или ротационного поля излучения.

Условно истинные значения МИЭД были получены с использованием уравнения (2)–(3) и представлены в таблице 5. Основной вклад в значение $\dot{H}_p(10)$ вносит излучение, падающее под углом 0° по отношению к нормали к поверхности, на которой размещен индивидуальный дозиметр. Неопределенность величин $\dot{H}_p(10, \theta^\circ)$ оценивается в величину не более $\pm 20\%$,

а $\dot{H}_p(10)$ – не более $\pm 15\%$. Так как было показано, что облучение является изотропным (или ротационным, как верхней границы изотропного облучения) для персонала во всех точках исследования, то для сравнения были рассчитаны значения по формуле:

$$\dot{H}_p^{\text{рот}}(10) = \frac{\sum_0^{2\pi} \dot{H}_p(10, \theta^\circ)}{4} \cdot \varphi, \quad (4)$$

$h_p(10, \theta^\circ)$ – удельный индивидуальный эквивалент дозы для угла падения нейтронов θ° , пЗв·см² [18, 19];
 φ – интегральная плотность потока нейтронного излучения, с⁻¹·см⁻².

Результаты расчетов $\dot{H}_p^{\text{рот}}$ представлены в таблице 5. Пример расчета значения МИЭД для точки на отм. 6.3:

$$\begin{aligned} \dot{H}_p(10) &= \dot{H}_p(10, 0^\circ) + \dot{H}_p(10, +90^\circ) + \dot{H}_p(10, -90^\circ) + \dot{H}_p(10, 180^\circ) \\ &= \varphi(0^\circ) \cdot h_p(10, 0^\circ) + \varphi(+90^\circ) \cdot h_p(10, +90^\circ) + \varphi(-90^\circ) \cdot h_p(10, -90^\circ) + \varphi(180^\circ) \cdot h_p(10, 180^\circ) \\ &= 48 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2} \cdot (0,25 \cdot 103 \text{ пЗв} \cdot \text{см}^2 + 0,29 \cdot 8,3 \text{ пЗв} \cdot \text{см}^2 + 0,21 \cdot 8,3 \text{ пЗв} \cdot \text{см}^2 + 0,25 \cdot 14 \text{ пЗв} \cdot \text{см}^2) \cdot \frac{3600}{1000000} = 5,8 \text{ мЗв/ч} \end{aligned}$$

Разница в условно истинных значениях МИЭД, полученных с учетом углового распределения плотности потока нейтронного излучения и путем предположения рота-

Условно истинные значения МИЭД, мкЗв/ч

Таблица 5

[Table 5]

'True' values of Individual dose equivalent rate, $\mu\text{Sv/h}$

Величина [Value]	Точки измерений (Point of measurement)			
	Отм. 6,3 [Point 6.3]	Отм. 3,9 [Point 3.9]	Отм. 0,0 ГЭК [Point 0.0 HEC]	Отм. 0,0 Ремкоридор [Point 0.0 Repair corridor]
$\dot{H}_p(10, 0^\circ)$	4,6	17,0	0,40	0,32
$\dot{H}_p(10, 90^\circ)$	0,4	0,9	0,03	0,03
$\dot{H}_p(10, -90^\circ)$	0,3	1,3	0,05	0,03
$\dot{H}_p(10, 180^\circ)$	0,6	1,5	0,06	0,05
$\dot{H}_p(10)$	5,9	20,7	0,54	0,43
$\dot{H}_p^{\text{рот}}(10)$	5,5	18,9	0,76	0,77

Поправочные коэффициенты, отн. ед.

Таблица 6

[Table 6]

Correction factors, rel. units]

Дозиметр [Dosimeter]	Точки измерений (Point of measurement)							
	Отм. 6,3 [Point 6.3]		Отм. 3,9 [Point 3.9]		Отм. 0,0 ГЭК [Point 0.0 HEC]		Отм. 0,0 Ремкоридор [Point 0.0 Repair corridor]	
	$\dot{H}_p$	к	$\dot{H}_p$	к	$\dot{H}_p$	к	$\dot{H}_p$	к
Условно истинное значение [True value]	5,9	–	20,7	–	0,54	–	0,43	–
ДВГН-01 [DVGN-01]	37	0,16	138	0,15	13	0,04	15	0,03
Harshaw 6776	48	0,12	156	0,13	11	0,05	21	0,02
Harshaw 6777	40	0,15	157	0,13	–	–	18	0,02

ционного облучения, составляет от 5 до 80%. Это связано с тем, что облучение является, строго говоря, не совсем изотропным или ротационным.

Поправочные коэффициенты были рассчитаны как отношение условно истинных значений МИЭД к показаниям индивидуальных дозиметров, расположенных на передней поверхности тела. Неопределенность поправочных коэффициентов оценивается не более $\pm 17\%$. Поправочные коэффициенты представлены в таблице 6.

По данным таблицы 6 видно, что индивидуальные дозиметры, в частности, ТЛ-дозиметры, переоценивают величину облучения персонала от 6,3 до 50 раз. Такая переоценка индивидуального эквивалента дозы вызвана отличием энергетической зависимости чувствительности индивидуальных ТЛ дозиметров от удельного индивидуального эквивалента дозы [22] (рис. 2).

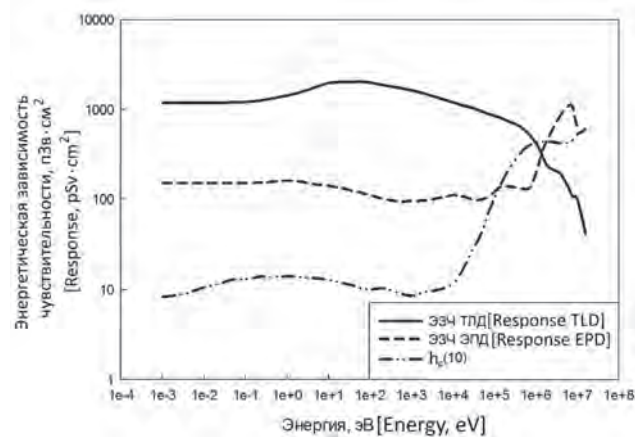


Рис. 2. Энергетические зависимости чувствительности индивидуальных дозиметров в сравнении с удельным индивидуальным эквивалентом дозы

[Fig. 2. Response of personal dosimeters in comparison with fluence-to-personal dose equivalent conversion coefficient]

Разница чувствительности ТЛ-дозиметров к тепловым и быстрым нейтронам составляет более чем 5 раз, а разница удельного индивидуального эквивалента дозы для тех же энергий составляет менее 0,02. Таким образом, поверяя ТЛ-дозиметры с использованием источников

быстрых нейтронов, их показания в низкоэнергетических полях будут существенно завышать значение эффективной дозы. Применение поправочных коэффициентов позволяет уточнить оценки эффективной дозы облучения персонала.

Переход от операционных величин к нормируемым – от индивидуального эквивалента дозы к эффективной дозе осуществляется путем введения поправочного коэффициента, учитывающего различие в удельном индивидуальном эквиваленте дозы и удельной эффективной дозе. Поправочный коэффициент рассчитывается как отношение эффективной дозы в изотропной (или ротационной) геометрии облучения к условно истинному значению индивидуального или амбиентного эквивалента дозы. Эффективная доза рассчитывалась путем свертки энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения и удельной эффективной дозы. Поправочные коэффициенты, учитывающие различие в удельном индивидуальном эквиваленте дозы и удельной эффективной дозы для исследуемых рабочих мест для изотропной и ротационной геометрий облучения, представлены в таблице 7.

Из данных таблицы 7 видно, что при оценке эффективной дозы необходимо учитывать энергетическое и угловое распределение плотности потока нейтронного излучения. Наиболее точно оценить эффективную дозу в условиях изотропного облучения можно, рассчитывая условно истинное значение МИЭД по уравнению (4). Отличие условно истинного значения МИЭД, рассчитанного по уравнениям (2)–(3), от эффективной дозы в условиях изотропного облучения обусловлено тем, что угловое распределение плотности потока нейтронного излучения все-таки не являлось строго изотропным, так как отклонение вклада плотности потока для определенного направления от его среднего значения превышало 10%.

Таким образом, с учетом различий в удельном индивидуальном эквиваленте дозы и удельной эффективной дозе (см. табл. 7), мощность эффективной дозы нейтронного излучения на рабочих местах АО «Институт реакторных материалов» при нормальной эксплуатации реакторной установки ИВВ-2М составила от 0,7 до 23,0 мкЗв/ч для различных рабочих мест. Точка измерений на отметке

Таблица 7

Поправочные коэффициенты, учитывающие различие в удельном индивидуальном эквиваленте дозы и удельной эффективной дозе для изотропной и ротационной геометрий

[Table 7]

Correction factors, taking into account difference between fluence-to-personal dose equivalent and fluence-to-effective dose in ISO and ROT geometry]

Поправочный коэффициент [Correction factor]	Точки измерений [Point of measurement]			
	Отм. 6,3 [Point 6.3]	Отм. 3,9 [Point 3.9]	Отм. 0,0 ГЭК [Point 0.0 HEC]	Отм. 0,0 Ремкоридор [Point 0.0 Repair corridor]
$\dot{E} / \dot{H}_p(10)$	0,97 / 1,32	0,86 / 1,12	1,52 / 2,03	1,70 / 2,22
$\dot{E} / \dot{H}_p^{\text{ROT}}(10)$	1,04 / 1,41	0,94 / 1,22	1,08 / 1,44	0,95 / 1,25
$\dot{E} / \dot{H}_p^{\text{ROT}}(10)$	0,38 / 0,51	0,35 / 0,46	0,35 / 0,47	0,35 / 0,45

3,9, где наблюдается максимальное значение мощности эффективной дозы, располагается в физическом зале непосредственно за биологической защитой реактора и является наиболее близко расположенной из исследованных точек к активной зоне реактора. Физический зал является помещением временного (периодического) пребывания. Допуск персонала в физический зал осуществляется по наряд-допуску либо по распоряжению начальника смены для оперативного персонала.

Заключение

Проведены измерения углового и энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах персонала АО «ИРМ». Энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения на рабочих местах имеет как высокоэнергетическую, так и низкоэнергетическую составляющие.

Угловое распределение плотности потока нейтронного излучения было определено путем размещения индивидуальных дозиметров с 4 вертикальных сторон фантома тела взрослого человека. Выяснилось, что нейтронные поля близки к ротационным (изотропным) и их можно считать во всех точках измерений. Принимая это во внимание, эталонное значение $H_p(10)$ было рассчитано с использованием коэффициентов преобразования $h_p(10, \theta)$ для 4 углов падения (0° , 90° , 180° и 270°). Полученные значения сравнивались с показаниями индивидуальных дозиметров, полученных в условиях облучения на рабочих местах персонала для определения поправочных коэффициентов. Было получено, что на исследованных рабочих местах в условиях ротационного поля нейтронного излучения индивидуальные дозиметры завышают индивидуальный эквивалент дозы от 6 до 50 раз. Эффективная доза нейтронного излучения на рабочих местах АО «Институт реакторных материалов» при нормальной эксплуатации реакторной установки ИВВ-2М варьирует в диапазоне от 0,7 до 23,0 мкЗв/ч для различных рабочих мест.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации (грант № МК-4027.2021.4) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90096.

Литература

- Bolognese-Milsztajn T., Bartlett D., Boschung M., et al. Individual neutron monitoring in workplaces with mixed neutron/photon radiation // *Radiation Protection Dosimetry*. 2004. Vol. 110, Issue 1-4. P. 753–758. DOI:10.1093/rpd/nch220.
- d'Errico F., Bartlett D., Bolognese-Milsztajn T., et al. Evaluation of individual dosimetry in mixed neutron and photon radiation fields (EVIDOS). Part I: scope and methods of the project // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. Vol. 125, Issue 1-4. P. 275–280. DOI:10.1093/rpd/ncm169.
- Schuhmacher H., Bartlett D., Bolognese-Milsztajn T., et al. Evaluation of individual dosimetry in mixed neutron and photon radiation fields (EVIDOS). Part II: conclusions and recommendations // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. Vol. 125, Issue 1-4. P. 281–284. DOI:10.1093/rpd/ncm167.
- Luszk-Bhadra M., Bolognese-Milsztajn T., Boschung M., et al. Direction distributions of neutrons and reference values of the personal dose equivalent in workplace fields // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. Vol. 125, Issue 1-4. P. 364–368. DOI:10.1093/rpd/ncm189.
- Luszk-Bhadra M., Lacoste V., Reginatto M., Zimbal A. Energy and direction distribution of neutrons in workplace fields: implication of the results from the EVIDOS project for the set-up of simulated workplace fields // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. Vol. 126, Issue 1-4. P. 151–154. DOI:10.1093/rpd/ncm032.
- Park H., Kim J., Choi K. Neutron Spectrum Measurement at the Workplace of Nuclear Power Plant with Bonner Sphere Spectrometer // *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2008. Vol. 45. P. 298–301. DOI: 10.1080/00223131.2008.10875847.
- Luszk-Bhadra M., Bartlett D., Bolognese-Milsztajn, et al. Characterization of mixed neutron–photon workplace fields at nuclear facilities by spectrometry (energy and direction) within the EVIDOS project // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. Vol. 124, Issue 3. P. 219–229. DOI:10.1093/rpd/ncm419.
- Fernandez F., Bakali M., Tomas M., et al. Neutron measurements in the Vandellós II nuclear power plant with a Bonner sphere system // *Radiation Protection Dosimetry*. 2004. Vol. 110, Issue 1-4. P. 517–521. DOI:10.1093/rpd/nch383.
- Rimpler A. Bonner sphere neutron spectrometry at spent fuel casks // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 2002. Vol. 476. P. 468–473. DOI:10.1016/S0168-9002(01)01492-9.
- Lacoste V., Reginatto M., Asselineau B., Muller H. Bonner sphere neutron spectrometry at nuclear workplaces in the framework of the EVIDOS project // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. Vol. 125, Issue 1-4. P. 304–308. DOI:10.1093/rpd/ncm161.
- Luszk-Bhadra M., Derbau D., Halfarth G., et al. Measurement of energy and directional distribution of neutron fluence inside a nuclear power plant // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 2002. Vol. 476. P. 457–462. DOI:10.1093/rpd/nch179.
- Алексеев А.Г., Пикалов В.А., Суманев О.В., и др. Измерение спектров нейтронного излучения на рабочих местах разделительного производства завода по обогащению урана // *АНРИ*. 2005. Т. 43, №4. С. 49–60.
- Алексеев А.Г., Косьяненко Е.В., Суманев О.В., Крючков В.П. Измерение спектров нейтронного излучения при пуске 3-го блока Калининской АЭС // *АНРИ*. 2006. Т. 45, №2. С. 55–61.
- Алексеев А.Г., Алексеев П.А. Спектры нейтронов на рабочих местах персонала Балаковской АЭС // *Евразийский Союз Ученых. Технические науки*. 2020. Т. 70, № 2. С. 20–26. DOI:10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.70.534.
- Алексеев А.Г., Бараненков Н.Н., Бритвич Г.И., и др. Исследование характеристик нейтронного излучения на ядерно-физических установках для методической поддержки ИДК. Протвино: Препринт ИФВЭ, 2003. 12 с.
- Pyshkina M., Vasilyev A., Ekidin A., et al. Study of neutron energy and directional distribution at the Beloyarsk NPP selected workplaces // *Nuclear Engineering and Technology*. 2020. Vol. 53, No 5. P. 1723–1729 DOI:10.1016/j.net.2020.10.015.
- Pyshkina M., Vasilyev A., Ekidin A., et al. Development and testing of a neutron radiation spectrometer in fields of radio-nuclide sources // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2163, № 1. P. 1-4. DOI:10.1063/1.5130115.
- Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes, Technical report series No. 403, IAEA, Vienna, Austria, 2001. P. 337.
- d'Errico F., Giustu V., Siebert B.R.L. A new neutron monitor and extended conversion coefficients for $H_p(10)$ // *Radiation Protection Dosimetry*. 2007. Vol. 125, № 1-4. P. 345–348. DOI: 10.1093/rpd/ncm316.
- Фантом грудной клетки (ФЛТ-05, 06). URL: <https://www.radek.ru/fantoms/flt0506/> (Дата обращения 27.04.2021).

21. Санников А.В., Лебедев В.Н., Кустарев В.Н., и др. Индивидуальный дозиметр смешанного излучения ДВГН-01: разработка и исследование характеристик. Протвино: Препринт ИФВЭ, 2005. 13 с.
22. Thermo Scientific Harshaw TLD Materials and Dosimeters. URL: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/Catalogs/Dosimetry-Materials-Brochure.pdf> (Дата обращения 27.04.2021).
23. Pyshkina M., Zhukovsky M., Ekin A. The uncertainties of personal neutron dosimeters at various operational neutron fields // RAD Conference Proceedigs. 2018. Vol. 3. P. 36-41. DOI: 10.21175/RadProc.2018.08.

Поступила: 26.03.2021 г.

Пышкина Мария Дмитриевна – младший научный сотрудник, ассистент, Уральский федеральный университет, младший научный сотрудник, Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук. Адрес для переписки: 620219, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: Maria1pyshkina@gmail.com

Васильев Алексей Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник, заведующий радиационной лабораторией, Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Екидин Алексей Акимович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Назаров Евгений Игоревич – младший научный сотрудник, Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Романова Марина Александровна – магистрант, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия; инженер по радиационной безопасности, Институт реакторных материалов, Заречный, Россия

Гуринович Владимир Иванович – главный конструктор проекта, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», Минск, Республика Беларусь

Комар Дамиан Ингваррович – инженер, Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», Минск, Беларусь

Кожемякин Валерий Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, директор Научно-производственного унитарного предприятия «АТОМТЕХ», Минск, Беларусь

Для цитирования: Пышкина М.Д., Васильев А.В., Екидин А.А., Назаров Е.И., Романова М.А., Гуринович В.И., Комар Д.И., Кожемякин В.А. Дозиметрия нейтронного излучения на рабочих местах персонала АО «Институт реакторных материалов» // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 89–99. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-89-99

Neutron dosimetry at workplaces of JC “Institute of Nuclear Materials”

Mariia D. Pyshkina ^{1,2}, Aleksey V. Vasilyev ², Aleksey A. Ekin ², Evgeniy I. Nazarov ², Marina A. Romanova ^{1,3}, Vladimir I. Gurinovich ⁴, Damian I. Komar ⁴, Valery A. Kozhemyakin ⁴

¹ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

³ Institute of Nuclear Materials, Zarechny, Russia

⁴ Scientific Production Unitary Enterprise «АТОМТЕХ», Minsk, Belarus

If the neutron fields at personnel workplaces differ from the neutron fields in which individual dosimeters are verified, there is a possibility of additional errors in the assessment of such dosimetric quantities as ambient dose equivalent, individual dose equivalent or effective dose. To take into account the energy distribution of the neutron radiation flux density and the geometry of the irradiation of workers, it is necessary to study the

Mariia D. Pyshkina

Ural Federal University; Institute of Industrial Ecology

Address for correspondence: Sofia Kovalevskaya str., 20, Ekaterinburg, 620219, Russia; E-mail: Maria1pyshkina@gmail.com

characteristics of the fields of neutron radiation at the workplaces of the personnel. In order to obtain conditionally true levels of personnel exposure to neutron radiation at nuclear facilities, studies of the energy and angular distribution of the neutron radiation flux density were carried out at the workplaces of the Institute of Reactor Materials JSC, Zarechny. The energy distribution of the neutron radiation flux density was obtained using an MKS-AT1117M multi-sphere dosimeter-radiometer with a BDKN-06 detection unit and a set of polyethylene spheres-moderators. The angular distribution of the neutron radiation flux density was estimated from the results of measurements of the accumulated dose of neutron radiation by individual thermoluminescent dosimeters placed on four vertical planes of a heterogeneous human phantom. The results of measurements of the energy and angular distribution of the neutron radiation flux density made it possible to estimate the conditionally true values of the ambient and individual dose equivalents. The calculated conventionally true values differ from the measured values from 0.7 to 8.9 times for the ambient dose equivalent and from 6 to 50 times for the individual dose equivalent. In order to reduce the error in assessing the effective dose of personnel using personal dosimeters, correction factors were determined. For different workplaces and types of personal dosimeters, correction factors are in the range of values from 0.02 to 0.16.

Key words: neutrons, dosimeter-radiometer, correction factor, exposure geometry.

References

- Bolognese-Milsztajn T, Bartlett D, Boschung M, Coeck M, Curzio G, d'Errico F, et al. Individual neutron monitoring in workplaces with mixed neutron/photon radiation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2004;110(1-4): 753–758. DOI:10.1093/rpd/nch220.
- d'Errico F, Bartlett D, Bolognese-Milsztajn T, Boschung M, Coeck M, Curzio G, et al. Evaluation of individual dosimetry in mixed neutron and photon radiation fields (EVIDOS). Part I: scope and methods of the project. *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;125(1-4): 275–280. DOI:10.1093/rpd/ncm169.
- Schuhmacher H, Bartlett D, Bolognese-Milsztajn T, Boschung M, Coeck M, Curzio G, et al. Evaluation of individual dosimetry in mixed neutron and photon radiation fields (EVIDOS). Part II: conclusions and recommendations. *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;125(1-4): 281–284. DOI:10.1093/rpd/ncm167.
- Luszk-Bhadra M, Bolognese-Milsztajn T, Boschung M, Coeck M, Curzio G, d'Errico F, et al. Direction distributions of neutrons and reference values of the personal dose equivalent in workplace fields. *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;125(1-4): 364–368. DOI:10.1093/rpd/ncm189.
- Luszk-Bhadra M, Lacoste V, Reginatto M, Zimbal A. Energy and direction distribution of neutrons in workplace fields: implication of the results from the EVIDOS project for the set-up of simulated workplace fields. *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;126(1-4): 151–154. DOI:10.1093/rpd/ncm032.
- Park H, Kim J, Choi K. Neutron Spectrum Measurement at the Workplace of Nuclear Power Plant with Bonner Sphere Spectrometer. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2008;45:298–301. DOI: 10.1080/00223131.2008.10875847.
- Luszk-Bhadra M, Bartlett D, Bolognese-Milsztajn, Boschung M, Coeck M, Curzio G, et al. Characterization of mixed neutron-photon workplace fields at nuclear facilities by spectrometry (energy and direction) within the EVIDOS project. *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;124(3): 219–229. DOI:10.1093/rpd/ncm419.
- Fernandez F, Bakali M, Tomas M, Muller H, Pochat JL. Neutron measurements in the Vandellós II nuclear power plant with a Bonner sphere system. *Radiation Protection Dosimetry*. 2004;110(1-4): 517–521. DOI:10.1093/rpd/nch383.
- Rimpler A. Bonner sphere neutron spectrometry at spent fuel casks. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 2002;476: 468–473. DOI:10.1016/S0168-9002(01)01492-9.
- Lacoste V, Reginatto M, Asselineau B, Muller H. Bonner sphere neutron spectrometry at nuclear workplaces in the framework of the EVIDOS project. *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;125(1-4): P. 304–308. DOI:10.1093/rpd/ncm161.
- Luszk-Bhadra M, Derbau D, Hallfarth G, Matzke M, Wiegel B, Wittstock J. Measurement of energy and directional distribution of neutron fluence inside a nuclear power plant. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 2002;476: 457–462. DOI: 10.1016/S0168-9002(01)01490-5.
- Alekseev AG, Pikalov VA, Sumaneev OV, Kosyanenko EV, Britvich GI, Spirov EG, et al. Measurement of neutron radiation spectra at workplaces of separation production of a uranium enrichment plant. *ANRI*. 2005;43(4): 49–60. (In Russian).
- Alekseev AG, Kosyanenko EV, Sumaneev OV, Kryuchkov VP. Measurement of neutron radiation spectra during start-up of Unit 3 of the Kalinin NPP. *ANRI*. 2006;45(2): 55–61. (In Russian).
- Alekseev AG, Alekseev PA. Neutron spectra at the workplaces of the Balakovo NPP personnel. *Eurasian Union of Scientists. Technical science*. 2020;70(2): 20–26. (In Russian). DOI:10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.70.534.
- Alekseev AG, Baranenko NN, Britvich GI, Kosyanenko EV, Pikalov VA. Investigation of the characteristics of neutron radiation at nuclear physics facilities for methodological support of the IDK. Protvino: Preprint IPHE; 2003. 12 p. (In Russian).
- Pyshkina M, Vasilyev A, Egidin A, Nazarov E, Nikitenko V, Pudovkin A. Study of neutron energy and directional distribution at the Beloyarsk NPP selected workplaces. *Nuclear Engineering and Technology*. 2020;53(5): 1723–1729. DOI:10.1016/j.net.2020.10.015.
- Pyshkina M, Vasilyev A, Egidin A, Zhukovsky MV. Development and testing of a neutron radiation spectrometer in fields of radionuclide sources. *AIP Conference Proceedings*. 2019;2163(1): 1–4. DOI:10.1063/1.5130115.
- Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes, Technical report series No. 403, IAEA, Vienna, Austria; 2001. 337 p.
- d'Errico F, Giustu V, Siebert BRL. A new neutron monitor and extended conversion coefficients for Hp(10). *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;125(1-4): 345–348. DOI: 10.1093/rpd/ncm316.
- Chest phantom (FLT-05, 06). Available from: <https://www.radek.ru/fantoms/flt0506/> (Accessed: April 27, 2021) (In Russian).
- Sannikov AV, Lebedev VN, Kustarev VN, Savitskaya EN, Spirov EG. Personal dosimeter of mixed radiation DVG-01: development and investigation of its characteristics. Protvino: Preprint IPHE; 2005. 13 p. (In Russian).
- Thermo Scientific Harshaw TLD Materials and Dosimeters. Available from: <https://assets.thermofisher.com/TFS->

Assets/LSG/Catalogs/Dosimetry-Materials-Brochure.pdf
(Accessed: April 27, 2021).

fields. *RAD Conference Proceedings*. 2018;3: 36-41. DOI: 10.21175/RadProc.2018.08.

23. Pyshkina M, Zhukovsky M, Ekin A. The uncertainties of personal neutron dosimeters at various operational neutron

Received: March 26, 2021

For correspondence: Mariia D. Pyshkina – Junior Researcher, Assistant, Ural Federal University; Junior Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Sofia Kovalevskaya str., 20, Ekaterinburg, 620219, Russia; E-mail: Maria1pyshkina@gmail.com)

Aleksey V. Vasilyev – Candidate of Technical Sciences, Researcher, Head of radiation department, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Aleksey A. Ekin – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Evgeniy I. Nazarov – Junior Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Marina A. Romanova – master student, Ural Federal University; Radiation Safety Engineer, JC “Institute of Nuclear Materials”, Zarechny, Russia

Vladimir I. Gurinovich – chief designer, Scientific Production Unitary Enterprise «ATOMTEX», Minsk, Belarus

Damian I. Komar – engineer, Scientific Production Unitary Enterprise «ATOMTEX», Minsk, Belarus

Valery A. Kozhemyakin – Candidate of Technical Sciences, Director, Scientific Production Unitary Enterprise «ATOMTEX», Minsk, Belarus

For citation: Pyshkina M.D., Vasilyev A.V., Ekin A.A., Nazarov E.I., Romanova M.A., Gurinovich V.I., Komar D.I., Kozhemyakin V.A. Neutron dosimetry at workplaces of JC “Institute of Nuclear Materials”. *Radiatsionnaya Gygiena* = *Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 89-99. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-89-99

Правила для авторов журнала «Радиационная гигиена»

Научно-практический журнал «Радиационная гигиена» был основан в 2008 г. Журнал представляет собой издание научно-теоретической и практической ориентации, направленное на публикацию оригинальных исследований, экспериментальных, теоретических статей, обзоров, кратких сообщений, дискуссионных статей, отчетов о конференциях, рецензий на работы по актуальным вопросам радиационной гигиены, писем в редакцию, хроники событий научной жизни. Тематика журнала включает актуальные вопросы и достижения в области радиационной гигиены и санитарного надзора за радиационной безопасностью.

Полные тексты электронных версий статей представлены на сайтах Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru и официальном сайте журнала «Радиационная гигиена» www.radhyg.ru.

Журнал «Радиационная гигиена» входит в перечень российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Работы для опубликования в журнале должны быть представлены в соответствии с данными требованиями:

1. Материалы, представляемые в статье, не должны быть ранее опубликованными в других печатных изданиях. Авторам следует информировать редакцию журнала о том, что какие-то части этих материалов уже опубликованы и могут рассматриваться как дублирующие. В таких случаях в новой статье должны быть ссылки на предыдущие работы. Копии таких материалов прилагаются к рукописи, чтобы редакция имела возможность принять решение, как поступить в данной ситуации. Не допускается направление статей, которые уже напечатаны в других изданиях или представлены для печати в другие издательства.

2. Редакция имеет право вести переговоры с авторами по уточнению, изменению, сокращению рукописи.

3. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать представленные работы. Все статьи, поступающие в редакцию журнала, проходят рецензирование в соответствии с требованиями ВАК.

4. Статья должна сопровождаться официальным направлением учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы. Должно быть экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи. Статья должна быть подписана всеми авторами.

5. Рукописи авторам не возвращаются.

6. **Рукописи, оформленные не в соответствии с правилами, к публикации не допускаются.**

7. Объем обзорных статей не должен превышать 20 страниц машинописного текста. Оригинальных исследований, исторических статей – 15 страниц, исторических и дискуссионных статей – 10, отчетов о конференциях, кратких сообщений и заметок из практики – 5 страниц.

8. Текст статьи печатается на одной стороне листа формата А4 шрифтом Times New Roman кеглем 14, с межстрочным интервалом 1,5. Ориентация книжная (портрет) с полями слева – 2,5 см, сверху – 2 см, справа – 1,5 см, снизу – 2 см. Нумерация страниц – сверху в центре, первая страница без номера. Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

9. Статьи следует присылать в редакцию в электронном виде по адресу: journal@niirg.ru в формате MS Word с приложением сканированных копий направительного письма и

первой страницы статьи с подписью всех авторов статьи в формате pdf. Печатный экземпляр рукописи, подписанный авторами, и оригинал направительного письма отсылается по почте в адрес редакции.

10. **Титульный лист** должен содержать:

- название статьи (оно должно быть кратким и информативным, не допускается использование сокращений и аббревиатур, а также торговых (коммерческих) названий приборов, медицинской аппаратуры и т.п.);

- фамилию и инициалы автора(ов);

- наименование учреждений, в которых работают авторы с указанием ведомственной принадлежности (Роспотребнадзор, Минздрав России, РАМН и т.п.), город, страна (префиксы учреждений, указывающие на форму собственности, статус организации (ГУ ВПО, ФГБУ, ФБУН и т.д.) не указываются);

- рядом с фамилией автора(ов) и названием учреждения цифрами в верхнем регистре обозначается, в каком учреждении работает каждый из авторов. Если все авторы работают в одном учреждении, указывать место работы каждого автора отдельно не нужно;

- вся информация предоставляется на русском и английском языках. Фамилии авторов нужно транслитерировать по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru. **Указывается официально принятый английский вариант наименования организаций!**

11. На отдельном листе указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью) на русском языке и в транслитерации, ученая степень, ученое звание, должность в учреждении/учреждениях, рабочий адрес с почтовым индексом, рабочий телефон и адрес электронной почты всех авторов. Сокращения не допускаются.

12. После титульного листа размещается резюме статьи на русском и английском языках (объемом не менее 250 слов каждая). Резюме к оригинальной научной статье должно иметь следующую структуру: цель, материалы и методы, результаты, заключение. Все пишется сплошным текстом, без выделения абзацев. Для остальных статей (обзор, лекция, дискуссия) резюме должно включать краткое изложение основной концепции статьи, по сути краткое изложение самой статьи. **Резюме не должно содержать аббревиатур и сокращений, кроме общепринятых в мировой научной литературе.** Резюме является независимым от статьи источником информации для размещения в различных научных базах данных. **Обращаем особое внимание на качество английской версии резюме!** Оно будет опубликовано отдельно от основного текста статьи и должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. В конце приводятся **ключевые слова или словосочетания на русском и английском языках** (не более 12) в порядке значимости. **Ключевые слова также не должны содержать аббревиатур и сокращений.**

13. Текст оригинального научного исследования должен состоять из введения и выделяемых заголовками разделов: «Введение», «Цель исследования», «Задачи исследования», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы» или «Заключение», «Литература».

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

14. Если в статье имеется описание наблюдений на человеке, не используйте фамилии, инициалы больных или номера историй болезни, особенно на рисунках или фотографиях. При изложении экспериментов на животных укажите, соответствовало ли содержание и использование лабораторных животных правилам, принятым в учреждении, рекомендациям национального совета по исследованиям, национальным законам.

15. Все радиационные единицы следует приводить в международной системе единиц измерения (СИ) (см.: ГОСТ – 8.417 – 81 ГСИ. Единицы физических величин»; В.И. Иванов В.П. Машкович, Э.М. Ценер. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике: Справочное руководство. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.). Все результаты измерений, приводимых в статье, должны быть выражены только в системе СИ.

16. При описании методики исследования можно ограничиться указанием на существо применяемого метода со ссылкой на источник заимствования, в случае модификации – указать, в чем конкретно она заключается. Оригинальный метод должен быть описан полностью.

17. При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в резюме), необходимо давать их полное наименование и сокращение в скобках, в последующем применять только сокращение, однако их применение должно быть сведено к минимуму. Сокращение проводится по ключевым буквам слов в русском написании, например: источник ионизирующего излучения (ИИИ) и т. д. Тип приборов, установок следует вводить на языке оригинала, в кавычках; с указанием (в скобках) страны-производителя. Например: использовали спектрофотометр «СФ-16» (Россия), спектрофлуориметр фирмы «Hitachi» (Япония). Малоупотребительные и узкоспециальные термины также должны быть расшифрованы.

18. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст сразу после ссылки на нее.

19. Иллюстрации должны быть четкие, контрастные. Цифровые версии иллюстраций должны быть сохранены в отдельных файлах в формате Tiff, с разрешением 300 dpi и последовательно пронумерованы. Подписи должны быть размещены в основном тексте. Перед каждым рисунком, диаграммой или таблицей в тексте обязательно должна быть ссылка. В подписях к микрофотографиям, электронным микрофотографиям обязательно следует указывать метод окраски и обозначать масштабный отрезок. Диаграммы должны быть представлены в исходных файлах. Рисунки (диаграммы, графики) должны иметь подпись всех осей с указанием единиц измерения СИ. Легенда выносится за пределы рисунка.

20. Необходимо оформлять подписи к рисункам и таблицам, тексты внутри них на русском и на английском языках.

21. **Библиографические ссылки** в тексте должны даваться цифрами в квадратных скобках в соответствии со списком литературы в конце статьи.

Пример: В тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, даёт работа библиографа И.М. Кауфмана [59].

Если авторы не указаны, в отсылке указывают название документа, при необходимости указывают год издания, страницы.

Сведения в отсылке разделяют точкой и запятой.

Нумеруйте ссылки последовательно, в порядке их первого упоминания в тексте (не по алфавиту)! Для оригинальных научных статей – не менее 15–20 источников, для лекций и обзоров – не более 60 источников, для других статей – не более 15 источников.

22. К статье прилагаются на отдельном листе **два списка литературы.**

23. **В первом списке литературы (Литература)** библиографическое описание литературных источников должно соответствовать требованиям ГОСТ 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

24. **В списке литературы не следует указывать постановления, законы, санитарные нормы и правила, другие нормативно-методические документы.** Указания на них следует размещать в сносках или внутритекстовых ссылках. Сноски и внутритекстовые ссылки следует представить и на английском языке, написав после английского описания язык текста (In Russ.).

Примеры внутритекстовых ссылок:

.....согласно Норм радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [перевод на английский язык (In Russ.)]. Илисогласно ГОСТ Р 5177212001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования [перевод на английский язык (In Russ.)].

Подстрочные ссылки (сноски):

¹ СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [Sanitary Regulations and Standards 2.2.4.3359-16 «Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace» (In Russ.)]

¹ МУ 2.6.1.2944-11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. М.: Роспотребнадзор, 2011. 40 с. [Methodical guidelines 2.6.1.2944-11 “Control of the patient effective doses from medical X-ray examinations”. Moscow, Rospotrebnadzor, 2011, 40 p. (In Russ.)]

ПРИМЕРЫ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

Литература

Если имеется 3-4 автора, то указываются все. Если от 5 и больше – первые три автора, затем ставится «и др.».

Книги и брошюры:

Сергеев И.В., Смирнова Т.П., Исаков М.Н. Лучевая диагностика в России. СПб.: НИИРГ, 2007. 123 с.

Jenkins P.F. Making sense of the chest xray: a handson guide. New York: Oxford University Press; 2005. 194 p.

Iverson C., Flanagan A., Fontanarosa P.B. et al. American Medical Association manual of style. 9th ed. Baltimore (MD): Williams & Wilkins; 1998. 660 p.

Многотомные издания или на часть книги:

Пивинский Ю.Е. Общие вопросы технологии // Неформальные огнеупоры. М., 2003. Т. 1, кн. 1. С. 430-447.

Глава или раздел из книги:

Зайчик А.Ш., Чурилов Л.П. Основы общей патофизиологии // Основы общей патологии: учеб. пособие для студентов медвузов. СПб.: ЭЛБИ, 1999. Ч. 1., гл. 2. С. 124–169.

Riffenburgh R.H. Statistics in medicine. 2nd ed. Amsterdam (Netherlands): Elsevier Academic Press; 2006. Chapter 24, Regression and correlation methods; p. 447–86.

Ettinger S.J., Feldman E.C. Textbook of veterinary medicine: diseases of the dog and cat. 6th ed. St. Louis (MO): Elsevier Saunders; 2005. Section 7, Dietary considerations of systemic problems; p. 553–98.

Статьи из журнала, сборника:

Стамат И.П., Стамат Д.И. К обоснованию нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах // Радиационная гигиена. 2009. Т. 2, №1. С. 46-52.

Bailliff I.K., Slim H.A. Development of reference database for gamma dose assessment in retrospective luminescence dosimetry // Radiation Measurements. 2008. Vol. 43. P. 859–863.

Из сборника конференций (тезисы):

Кушинников С.И., Цапалов А.А. Проблемы достоверности оценки среднегодовой ЭРОА радона при радиационно-гигиеническом обследовании помещений. Сборник докладов и тезисов науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности на территории Российской Федерации», Москва, 25-26 октября 2007. М., 2007. С. 50-51.

Ссылки на Интернет-ресурсы:

Официальный сайт Медицинского радиологического научно-го центра РАМН (МРНЦ РАМН). URL: <http://www.mrrc.obninsk/> (дата обращения: 19.02.2010).

Дубнер П.Н. Англо-русский статистический глоссарий: основные понятия/ URL: <http://masters.donntu.org/2002/fvti/spivak/library/book2/book2.htm> (дата обращения: 16.06.2019)

Ссылки на статьи с DOI:

Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Зеликман М.И. и др. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии. REJR. 2018. Т.8, №3. С. 60-73. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.

Статьи, принятые к печати, но еще не вышедшие:

Горский Г.А., Еремин А.В., Стамат И.П. О необходимости радиационного обследования зданий после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции. Радиационная гигиена, 2010. Т. 3, № 1. Деп. 10.02.2010 г.

Патенты:

Карамуллин М.А., Шутко А.Н., Сосюкин А.Е. и др. Пат. № 2268031 Российская Федерация, МПК А61Н23.00. Способ коррекции отдаленных последствий радиационного воздействия в малых дозах. опубл. 20.01.2006, БИ № 02.

Из газеты:

Фомин Н.Ф., Иванович Ф.А., Веселов Е.И. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель. // Воен. врач, 1996. № 8 (1332) С. 5.

Фомин Н.Ф., Иванович Ф.А., Веселов Е.И. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель. // Воен. врач, 1996. № 8 (1332). 5 сент.

Диссертация и автореферат диссертации:

Фенухин В.И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северо-Кавказского региона: дис.... канд. полит. наук: защищена 22.01.02; утв. 15.07.02. М., 2002. 215 с.

Кадука М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Обнинск, 2001. 23 с.

25. Второй список литературы (References) полностью соответствует первому списку литературы. Оформляется в соответствии с Ванкуверским стилем (Vancouver Style). При этом в библиографических источниках на русском языке фамилии и инициалы авторов должны быть транслитерированы. Название работы переводится на английский язык.

Иностранные библиографические источники из первого списка полностью повторяются во втором списке. Более подробно правила представления литературных источников во втором списке представлены ниже.

Примеры:

Статья 1-6 авторов

Petitti DB, Crooks VC, Buckwalter JG, Chiu V. Blood pressure levels before dementia. *Arch Neurol*. 2005 Jan;62(1):112-6.

Статья 7 и более авторов (указываются первые 6 авторов, далее «, et al.»)

Hallal AH, Amortegui JD, Jeroukhimov IM, Casillas J, Schulman CI, Manning RJ, et al. Magnetic resonance cholangiopancreatography accurately detects common bile duct stones in resolving gallstone pancreatitis. *J Am Coll Surg*. 2005 Jun;200(6): 869-75.

Статья в электронном журнале

Errami M, Garner H. A tale of two citations. *Nature*. 2008;451(7177): 397–399. Available from: <http://www.nature.com/nature/journal/v451/n7177/full/451397a.html> [Accessed 20 January 2015].

Read B. Anti-cheating crusader vexes some professors. *Chronicle of Higher Education*. 2008;54(25). Available from: <http://global.factiva.com/> [Accessed 18 June 2015].

Статья в электронном журнале с DOI:

Kanneganti P, Harris JD, Brophy RH, Carey JL, Lattermann C, Flanagan DC. The effect of smoking on ligament and cartilage surgery in the knee: a systematic review. *Am J Sports Med* [Internet]. 2012 Dec;40(12): 2872-8. Available from: <http://ajs.sagepub.com/content/40/12/2872> DOI: 10.1177/0363546512458223 [Accessed 19 Feb 2013]

Книга (печатная)

Carlson BM. Human embryology and developmental biology. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2009. 541 p.

Книга (электронная)

Shreeve DF. Reactive attachment disorder: a case-based approach [Internet]. New York: Springer; 2012. 85 p. Available from: <http://ezproxy.lib.monash.edu.au/login?url=http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-1647-00363546512458223> [Accessed 2 Nov 2012]

Статья официальной организации (государственный, ведомственный, пр.).

Rowe IL, Carson NE. Medical manpower in Victoria. East Bentleigh (AU): Monash University, Department of Community Practice; 1981. 35 p. Report No.: 4.

Leatherwood S. Whales, dolphins, and porpoises of the western North Atlantic. U.S. Dept. of Commerce. Report number: 63, 2001.

Веб-страница

Diabetes Australia. Diabetes globally [Internet]. Canberra ACT: Diabetes Australia; Available from: <http://www.diabetesaustralia.com.au/en/Understanding-Diabetes/DiabetesGlobally/> [Accessed Nov 5 2012].

European Space Agency. Rosetta: rendezvous with a comet. Available from: <http://rosetta.esa.int> [Accessed 15 June 2015].

Из сборника конференций (тезисы)

Wittke M. Design, construction, supervision and long-term behaviour of tunnels in swelling rock. In: Van Cotthem A, Charlier R, Thimus J-F, Tshibangu J-P. (eds.) Eurock 2006: multiphysics coupling and long term behaviour in rock mechanics:

Proceedings of the International Symposium of the International Society for Rock Mechanics, EUROCK 2006, 9–12 May 2006, Liège, Belgium. London: Taylor & Francis; 2006. P. 211–216.

Стандарт

British Standards Institution. BS EN 1993-1-2:2005. Eurocode 3. *Design of steel structures. General rules. Structural fire design*. London: BSI; 2005.

Методические рекомендации/руководство

National Institute for Health and Care Excellence (NICE), Tuberculosis: NICE Guideline [NG33]. 2016. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng33/resources/tuberculosis-1837390683589> [Accessed 27 May 2017].

Ответственность за правильность изложения библиографических данных возлагается на автора.

Все статьи печатаются в журнале бесплатно.

Статьи направляются по адресу: 197101, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8, Федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева». Редакция журнала «Радиационная гигиена» и по email: journal@niirg.ru.

Справки по телефону: (812) 2334283 и (812) 2335016 (редакция журнала «Радиационная гигиена»).

Факс: (812) 2335363, 2334283.

Монография «Авария на АЭС «Фукусима-1»: радиологические последствия и уроки» СПб:НИИРГ, 2021 г.

В 2021 году вышла в свет монография «Авария на АЭС «Фукусима-1»: радиологические последствия и уроки», подготовленная коллективом авторов: Аминина Н.М., Архангельская Г.В., Балонов М.И., Барковский А.Н., Басалаева Л.Н., Бекашева Т.А., Библин А.М., Борисенко Г.С., Брук Г.Я., Вишнякова Н.М., Водоватов А.В., Голиков В.Ю., Громов А.В., Давыдов А.А., Звонова И.А., Зеленцова С.А., Иванов С.А., Кадука М.В., Омельчук В.В., Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Рамзаев В.П., Романович И.К., Салазкина В.Н., Ступина В.В., Севастьянов А.В., под редакцией академика Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой – СПб: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2021.

Эта монография является логическим продолжением первой монографии, выпущенной ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в 2012 году «Авария на АЭС «Фукусима-1»: организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации» под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко.

Во второй монографии обобщен опыт ликвидации последствий на АЭС «Фукусима-1» в Японии, меры защиты населения, влияние данной аварии на радиационную обстановку в других странах, в том числе и в Российской Федерации. В монографии также представлены основные результаты экспедиционных и лабораторных исследований специалистов ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, а также уровней загрязнения дальневосточных морепродуктов долгоживущими радионуклидами, представленных Тихоокеанским филиалом Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, ФБУЗ «Центрами гигиены и эпидемиологии» Дальневосточных субъектов Российской Федерации.

В монографии авторами удалось обобщить, систематизировать и критически проанализировать зарубежный и отечественный, в том числе собственный опыт по разработке и осуществлению мер по ликвидации крупных радиационных аварий, таких как авария на Чернобыльской АЭС и авария на АЭС «Фукусима-1».



Информация, приведенная в монографии, позволит специалистам, работающим в области радиационной безопасности и радиационной гигиены, более глубоко взглянуть на существующие проблемы радиационной защиты, повысить свои знания и более ответственно подходить к вопросам обеспечения радиационной безопасности и предотвращения радиационных аварий.

С монографией можно ознакомиться на сайте ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева www.niirg.ru, а также на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.