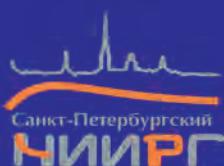


ISSN 1998-426X (print)
ISSN 2409-9082 (online)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

ТОМ 15 № 2, 2022


Санкт-Петербургский
НИИРГ



**Научно-практический
журнал**

УЧРЕДИТЕЛЬ:
Федеральное бюджетное
учреждение науки
«Санкт-Петербургский
научно-исследовательский
институт радиационной гигиены
имени профессора П.В. Рамзаева»
Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека

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 150 экз.

ISSN 1998-426X



9 771998 426783 >

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

© «Радиационная гигиена», 2022

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета
Г.Г. Онищенко

Главный редактор
И.К. Романович



Том 15 № 2, 2022

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

Александр 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)

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)

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

Рождко 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)

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; к.м.н., доцент (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)

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

FOUNDER:
Federal Scientific Organization
«Saint-Petersburg Research Institute
of Radiation Hygiene
after Professor P.V. Ramzaev»
Federal Service for Surveillance
on Consumer Rights Protection
and Human Well-Being

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



Vol. 15 № 2, 2022

RADIATION HYGIENE

Vol. 15 № 2, 2022

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)

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. Nadareishvili – 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)

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

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

Aleksandr V. Vodovatov – 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; Candidate of Medicine, Associate Professor (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 15 № 2, 2022

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Васильев А.С., Романович И.К., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В., Историк О.А., Еремина Л.А.
Сравнительная оценка доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых детских учреждений Ленинградской области в зависимости от методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений.....6

Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А., Станжевский А.А., Петрякова А.В., Анокина Е.Е., Величина К.С., Рыжов С.А.
Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии19

Голиков В.Ю., Водоватов А.В.
Влияние геометрии облучения на тяжесть острого радиационного поражения.....31

Кормановская Т.А., Кононенко Д.В., Сапрыкин К.А., Васильев А.С., Королева Н.А., Кокоулина Е.С., Балабина Т.А., Матвеева И.Г.
Контроль показателей радиационной безопасности зданий и сооружений, подлежащих сносу.....42

Шалагинов С.А., Аклеев А.В.
Недифференцированная олигофрения у потомков внутриутробно облучённых жителей прибрежных слес реки Течи.....52

Библин А.М., Давыдов А.А., Водоватов А.В., Стрельникова П.А., Черных А.Н., Пузырев В.Г.
Оценка восприятия радиационного риска родителями и законными представителями детей, проходящих рентгенорадиологические исследования.....63

Архангельская Г.В., Зеленцова С.А., Библин А.М., Давыдов А.А.
Отношение населения Северо-Западного региона к вопросам радиационной безопасности.....78

ДИСКУССИИ

Аклеев А.В., Аклеев А.А.
Пострадавший от радиационного воздействия человек – кто он?.....87

РАДИАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А.
Мощность амбиентного эквивалента дозы от ¹³⁷Cs и природных радионуклидов в одноэтажных жилых домах в населенных пунктах Брянской области в 2020–2021 гг.....95

ИЗ ИСТОРИИ ГИГИЕНЫ

Омельчук В.В.
Вклад Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены в практическую работу отечественных санитарно-эпидемиологических учреждений108

ЮБИЛЕЙ
К 75-летию Н.А. Мешкова119

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА»123

CONTENTS

Vol. 15 № 2, 2022

RESEARCH ARTICLES

Vasilyev A.S., Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V., Istorik O.A., Eremina L.A.
Comparative assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of several educational institutions in the Leningrad region, depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration16

Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Zvonova I.A., Stanzhevsky A.A., Petryakova A.V., Anokina E.E., Velichkina K.S., Ryzhov S.A.
Management of biological waste of patients after radionuclide therapy28

Golikov V.Yu., Vodovatov A.V.
Influence of the irradiation geometry on the severity of acute radiation damage.....31

Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V., Saprykin K.A., Vasilyev A.S., Koroleva N.A., Kokoulina E.S., Balabina T.A., Matveeva I.G.
Radiation survey of buildings and structures to be demolished.....50

Shalaginov S.A., Akleyev A.V.
Undifferentiated oligophrenia in the offspring of the in-utero exposed Techa riverside residents60

Biblin A.M., Davydov A.A., Vodovatov A.V., Strelnikova P.A., Chernykh A.N., Puzyrev V.G.
Radiation risk perception among parents and legal representatives of children undergoing radiological examinations75

Arkhangelskaya G.V., Zelentsova S.A., Biblin A.M., Davydov A.A.
Attitudes of the population of the Northwest region towards radiation safety issues85

DISCUSSIONS

Akleyev A.V., Akleyev A.A.
A person affected by radiation exposure – who is he?93

RADIATION MEASUREMENT

Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Bratilova A.A.
Ambient dose equivalent rate from ¹³⁷Cs and natural radionuclides in one-story residential buildings in settlements of the Bryansk region in 2020–2021105

HISTORY OF HYGIENE

Omelchuk V.V.
Contribution of the St-Petersburg Institute of radiation hygiene to the practical activities of Russian sanitary-epidemiological facilities117

ANNIVERSARY
To the 75th anniversary of N.A. Meshkov119

JOURNAL OF RADIATION HYGIENE – INSTRUCTIONS FOR AUTHORS.....123

Сравнительная оценка доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых детских учреждений Ленинградской области в зависимости от методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений

А.С. Васильев¹, И.К. Романович¹, Т.А. Кормановская¹, Д.В. Кононенко¹, О.А. Историк², Л.А. Еремина²

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

По данным ежегодного информационного сборника «Дозы облучения населения Российской Федерации», в течение многих лет основным дозообразующим фактором для населения является внутреннее облучение за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада. В статье приведены результаты сравнительной оценки доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников 4 детских учреждений Кингисеппского района Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в различных сценариях облучения, основанные на опубликованных ранее результатах измерений содержания радона в воздухе помещений экспрессным и интегральным методами. Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона при нахождении в здании детского учреждения, рассчитанные на основе результатов экспрессных измерений эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, составляют от 0,34 до 4,87 мЗв/год для разных учреждений. Однако при расчете аналогичных доз облучения на основе результатов интегральных измерений объемной активности радона были получены значения в 2–4 раза выше (от 1,40 до 14,79 мЗв/год), что не соответствует реальному сценарию облучения, поскольку трековые детекторы экспонировались непрерывно, включая ночное время, выходные дни и каникулярный период (т.е. периоды фактического отсутствия людей в зданиях детских учреждений). Вклад изотопов радона и их дочерних продуктов распада в индивидуальную годовую эффективную дозу облучения обучающихся и сотрудников детского сада д. Ополе за счет всех природных источников ионизирующего излучения при использовании результатов экспрессных измерений содержания радона составил 59% (2,21 мЗв/год), детского сада д. Фалилеево – 61% (2,41 мЗв/год), школы д. Фалилеево – 82% (6,81 мЗв/год), школы д. Большая Пустомержа – 82% (7,11 мЗв/год). Таким образом, при использовании результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений детских учреждений облучение учащихся и сотрудников обследованных школ по классификации ОСПОРБ 99/2010 является повышенным, а при использовании результатов интегральных измерений – высоким (более 10 мЗв/год). Значение среднего индивидуального пожизненного риска смерти от радон-индуцированного рака легкого (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений детских учреждений экспрессным методом) для обучающихся и сотрудников детского сада д. Ополе составило $3,8 \cdot 10^{-4}$, детского сада д. Фалилеево – $4,1 \cdot 10^{-4}$, школы д. Фалилеево – $1,2 \cdot 10^{-3}$, школы д. Большая Пустомержа – $1,2 \cdot 10^{-3}$, а использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений детских учреждений интегральным методом приводит к увеличению показателей риска от 1,5 до 2,4 раз. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий в Российской Федерации, что в дальнейшем позволит получать корректные значения доз облучения и радиационных рисков.

Ключевые слова: индивидуальные годовые эффективные дозы, радиационные риски, внутреннее облучение, радон, дочерние продукты распада, эквивалентная равновесная объемная активность, природные источники ионизирующего излучения, экспрессные измерения, интегральные методы, общественные здания, детские учреждения, Ленинградская область.

Васильев Алексей Серафимович

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.vasilev@niirg.ru

Введение

Природный радиоактивный газ радон может представлять серьезную опасность для здоровья человека, являясь ведущей причиной развития рака легкого у некурящих людей и второй по значимости – у курильщиков [1–4].

Согласно Государственному докладу Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзора) о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения за 2001–2019 гг., вклад изотопов радона (^{222}Rn , ^{220}Rn) и их короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) в среднюю индивидуальную годовую эффективную дозу природного облучения населения Российской Федерации является наиболее значимым и составляет примерно 60%, что соответствует 2 мЗв/год [5]. Дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) на протяжении многих лет не характеризуются сильной временной вариабельностью и остаются стабильными. Значительно большую озабоченность и интерес представляют отдельные группы населения, которые получают дозу облучения за счет ПИИИ, в разы превышающую среднероссийское и среднерегionalное значения.

Как известно, доза облучения за счет суммарного воздействия ПИИИ для населения не нормируется. В соответствии с НРБ-99/2009¹, «снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения», которые перечислены в п. 5.1.1 ОСПОРБ 99/2010².

Однако в соответствии с п. 5.1.2 ОСПОРБ 99/2010 «степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения от всех основных природных источников излучения:

- менее 5 мЗв/год – приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения;
- свыше 5 до 10 мЗв/год – облучение населения является повышенным;
- более 10 мЗв/год – облучение населения является высоким».

В контексте проведенного обследования детских учреждений (ДУ) наиболее важно отметить, что «мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год»².

При проведении радонометрических обследований эксплуатируемых общественных зданий в первую очередь необходимо учитывать фактическое время пребывания людей и требования по кратности воздухообмена, установленные в санитарном законодательстве, что не отражено в действующих методических документах [6]. Отсутствие методического документа, детализирующего процедуру проведения радиационного контроля в эксплуатируемых зданиях, и вынужденное использование методических указаний МУ 2.6.1.2838-11³, регламентирующих радиационный контроль зданий после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции, приводит к получению завышенных результатов измерений содержания радона в воздухе помещений общественных зданий. Причина этого кроется в том, что соблюдение требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 подразумевает проведение измерений после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях, что, несомненно, искажает реальную ситуацию облучения в общественных зданиях с некруглосуточным пребыванием людей.

Отсутствие единого подхода к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий зачастую приводит к закрытию посреди учебного года всего здания или части помещений ДУ после проведения контрольно-надзорных мероприятий, что, в свою очередь, зачастую ведет к росту уровня радиотрещивности среди населения. В одной лишь Кемеровской области за 2015–2021 гг. районные суды на основании исков должностных лиц Территориальных отделов Управления Роспотребнадзора по Кемеровской области приостановили деятельность не менее 16 учреждений (преимущественно дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений) на срок от 11 до 90 суток из-за повышенного содержания радона в возду-

¹ 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.)]

² 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.)]

³ Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности: Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2011 г. [Radiation control and sanitary and epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and facilities after their construction, overhaul, reconstruction according to radiation safety indicators. Guidelines MU 2.6.1.2838-11. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.01.2011. (In Russ.)]

хе помещений [7–22]. Аналогичные случаи были зарегистрированы и в других субъектах Российской Федерации: в Иркутской области [23, 24], Республике Алтай [25], Челябинской области [26], Приморском крае [27], Тульской области [28], Алтайском крае [29], Республике Саха (Якутия) [30] и Еврейской автономной области [31, 32]. Однако последующие детальные обследования этих зданий с использованием различных методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений не выявляли превышения гигиенического норматива.

Цель исследования – сравнительная оценка доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся (воспитанников и учащихся)⁴ и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона, рассчитанных на основе данных, полученных различными методами измерения содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей (школ и детских садов).

Материалы и методы

При расчете и анализе средних и максимальных доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона при нахождении в помещениях ДУ использовались результаты детального радонометрического обследования 4 эксплуатируемых общественных зданий в Кингисеппском районе Ленинградской области, расположенных на потенциально радоноопасных территориях. В зданиях было выполнено 100 измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона экспрессным (мгновенным) методом, 20 измерений объемной активно-

сти (ОА) радона интегральным методом и 4 двухнедельных серий непрерывных измерений ОА радона; характеристики используемых средств измерений, методики измерений и методы обработки полученных результатов детально представлены в [6]. Обследование ДУ проводилось в рамках выполнения отраслевой научно-исследовательской работы «Разработка и научное обоснование рекомендаций по планированию, организации и внедрению программ по снижению уровней облучения населения от природных источников ионизирующего излучения на уровне субъектов Российской Федерации с целью уменьшения рисков заболеваемости населения злокачественными новообразованиями».

Необходимо отметить, что обследованные здания ДУ имели четко регламентированный режим эксплуатации:

- рабочий день (время присутствия обучающихся и/или сотрудников в помещениях) с 7:00 до 19:00 в детских садах и с 8:00 до 17:00 в школах;
- пятидневный режим работы (с понедельника по пятницу);
- обязательное проветривание помещений в соответствии с установленным графиком, согласно требованиям санитарных правил^{5, 6, 7};
- наличие стандартного утвержденного распорядка дня или расписания занятий.

Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ рассчитывались согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.1088-02⁸ и рекомендациям МР 2.6.1.0088-14⁹. В расчетах был использован дозовый коэффициент $9,0 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³), рекомендованный

⁴ Статья 33 Федерального закона от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ (ред. от 30.12.2021 г.) «Об образовании в Российской Федерации». [Article 33 of the Federal Law No. 273-FZ of 29.12.2012 (as amended on 30.12.2021) "On the education in the Russian Federation". (In Russ.)]

⁵ Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы образовательных организаций и других объектов социальной инфраструктуры для детей и молодежи в условиях распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Санитарные правила СП 3.1/2.4.3598-20. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.06.2020 г. № 16 (ред. от 02.11.2021 г.). [Sanitary and epidemiological requirements for the design, maintenance and organization of work of educational organizations and other social infrastructure facilities for children and youth in the conditions of the spread of a new coronavirus infection (COVID-19). Sanitary rules SP 3.1/2.4.3598-20. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 30.06.2020 No. 16 (as amended on 02.11.2021). (In Russ.)]

⁶ Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи: Санитарные правила СП 2.4.3648-20. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.09.2020 г. № 28. [Sanitary and epidemiological requirements for organizations providing education and training, recreation and health improvement of children and youth. Sanitary rules SP 2.4.3648-20. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 28.09.2020 No. 28. (In Russ.)]

⁷ Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2. [Hygienic norms and requirements to ensure the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 28.01.2021 No. 2. (In Russ.)]

⁸ Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 04.01.2002 г. [Assessment of individual effective doses to the population due to natural sources of ionizing radiation. Guidelines MU 2.6.1.1088-02. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 04.01.2002. (In Russ.)]

⁹ Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона: Методические рекомендации МР 2.6.1.0088-14. Утверждены врио Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 18.03.2014 г. (далее – МР 2.6.1.0088-14). [Federal statistical form No. 4-DOZ. Data on doses of public exposure to natural and technologically enhanced radiation background. Guidelines MR 2.6.1.0088-14. Approved by the acting Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 18.03.2014 (hereinafter – MR 2.6.1.0088-14). (In Russ.)]

НКДАР ООН в отчетах 2000 и 2006 гг. [33, 34]. Однако, с учетом дозы облучения, получаемой за счет растворения газообразных радона и торона в крови и дальнейшего облучения других тканей и органов, кроме легких (примерно 5% дозы облучения за счет ДПР на легкие) [33, 34], значение итогового дозового коэффициента составило $9,45 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³). В данной работе учитывалась доза облучения за счет ингаляции изотопов радона не только при пребывании людей в здании ДУ (средние дозы облучения по зданию, рассчитанные с использованием результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий как наиболее соответствующих реальному сценарию облучения [6]), но и при пребывании в жилых домах и на открытой местности. Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР были рассчитаны по формуле 1:

$$E_{Rn} = d_{Rn} \cdot (A_{ул} \cdot t_{ул} + A_{ДУ} \cdot t_{ДУ} + A_{дом} \cdot t_{дом}) \quad (1),$$

где d_{Rn} – дозовый коэффициент, мЗв/(Бк·ч/м³); $A_{ул}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона на открытой местности, Бк/м³; $t_{ул}$ – время пребывания на открытой местности, ч/год; $A_{ДУ}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ, измеренной экспрессным методом, Бк/м³; $t_{ДУ}$ – время пребывания в ДУ, ч/год; $A_{дом}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений жилых домов, Бк/м³; $t_{дом}$ – время пребывания в жилом доме, ч/год.

Показатели радиационного риска были рассчитаны согласно методическим рекомендациям МР 2.6.1.0145-19¹⁰ (пп. 3.5 и 3.6). Значения пожизненного риска смерти от рака легкого, вызванного облучением радоном и его ДПР в течение календарного года, были рассчитаны по формуле 2:

$$\text{Риск}_{Rn} = D_{Rn} \cdot (OA_{ул} \cdot t_{ул} + OA_{ДУ} \cdot t_{ДУ} + OA_{дом} \cdot t_{дом}) \quad (2),$$

где D_{Rn} – номинальный коэффициент риска, равный $8 \cdot 10^{-10}$, м³/(Бк·ч); $OA_{ул}$ – среднее значение ОА радона в воздухе на открытой территории населенных пунктов, равное 10 Бк/м³; $t_{ул}$ – время пребывания на открытой местности, ч/год; $OA_{ДУ}$ – среднее значение ОА радона в воздухе помещений ДУ, Бк/м³; $t_{ДУ}$ – время пребывания в ДУ, ч/год; $OA_{дом}$ – среднее значение ОА радона в воздухе помещений жилых домов, Бк/м³; $t_{дом}$ – время пребывания в жилом доме, ч/год.

При расчетах доз облучения и радиационных рисков принималось, что доля времени, проводимая населением в помещениях, составляет 0,8¹¹ (19,2 ч в день; 7008 ч в год), из которых время пребывания в ДУ составляет в среднем 9 ч для учеников и сотрудников школ (2223

ч в год, учитывая количество рабочих дней согласно Производственному календарю на 2021 г. при пятидневной рабочей неделе) и 12 ч для воспитанников и сотрудников детских садов (2964 ч в год), остальное время – в жилых домах (4785 и 4044 ч в год соответственно). Доля времени, проводимая людьми вне помещений (на улице), составляет, соответственно, 0,2 (4,8 ч в день; 1752 ч в год).

Поскольку данные прямых измерений содержания радона в воздухе жилых домов и в атмосферном воздухе на открытой местности обследованных населенных пунктов, к сожалению, отсутствуют, при расчетах было использовано среднемировое среднее значение ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха, равное 6,5 Бк/м³ [33], и данные Федерального банка данных доз облучения населения Российской Федерации за счет природного и техногенно измененного радиационного фона (ФБДОПИ), согласно которым среднее арифметическое значение ЭРОА изотопов радона в жилых домах (многоэтажных каменных) Ленинградской области за 2016–2020 гг. составило 47 Бк/м³. Остальные компоненты дозы облучения за счет ПИИИ для населения Ленинградской области были взяты из ежегодного информационного сборника «Дозы облучения населения Российской Федерации» [35].

Следует отметить, что при оценке доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников ДУ использовались сильно усредненные значения содержания радона в воздухе жилых домов и на открытой местности, а также других компонентов дозы облучения за счет ПИИИ. Кроме того, реальное соотношение времени пребывания обучающихся и сотрудников в ДУ, дома и на открытом воздухе может отличаться, если учесть периодически вводимые карантинные ограничения из-за пандемии новой коронавирусной инфекции, определенные тенденции изменения образа жизни, период школьных каникул или непосещение ДУ по болезни и иным обстоятельствам.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты расчета индивидуальных годовых эффективных доз внутреннего облучения (далее – доз облучения) обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях 4 ДУ Кингисеппского района Ленинградской области.

Средние дозы облучения при нахождении в помещении ДУ, рассчитанные на основе результатов интегральных измерений и превышающие 5 мЗв/год, были получены в Фалилеевской СОШ, а превышающие 10 мЗв/год – в Пустомержской СОШ. Таким образом, даже без учета вклада других ПИИИ, облучение учащихся и сотрудников, основанное на результатах интегральных измерений, в Фалилеевской СОШ является повышенным

¹⁰ Расчет показателей радиационного риска по данным, содержащимся в радиационно-гигиенических паспортах территорий, для обеспечения комплексной сравнительной оценки состояния радиационной безопасности населения субъектов Российской Федерации: Методические рекомендации МР 2.6.1.0145-19. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 23.04.2019 г. [Calculation of radiation risk indicators based on the data contained in the radiation and hygienic passports of the territories to provide a comprehensive comparative assessment of the radiation safety status of the population of the subjects of the Russian Federation. Guidelines MR 2.6.1.0145-19. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 23.04.2019. (In Russ.)]

¹¹ Пункт 4.4.4 МР 2.6.1.0088-14. [Paragraph 4.4.4 of MR 2.6.1.0088-14. (In Russ.)]

Таблица 1

Дозы облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ (на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений интегральным и экспрессным методами)

[Table 1

Doses to students (pupils) and employees from exposure to radon and its progeny in the rooms of some educational institutions (based on the results of instant measurements of radon EEC and long-term measurements of radon concentration)]

Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, institution]	Интегральный метод [Long-term measurements]				Экспрессный метод [Instant measurements]				R _{L/I} , отн. ед. [rel. un.]
	ЭРОА _{Rn} , Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]		Доза облучения, мЗв/год [Dose, mSv/year]		ЭРОА _{Rn} , Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]		Доза облучения, мЗв/год [Dose, mSv/year]		
	CA [AM]	Максимальная [Maximum]	Средняя [Mean]	Максимальная [Maximum]	CA [AM]	Максимальная [Maximum]	Средняя [Mean]	Максимальная [Maximum]	
д. Ополье, детский сад [Opol'e, Kindergarten]	50	106	1,40	2,97	12	31	0,34	0,89	4,2
д. Фалилеево, детский сад [Falileevo, Kindergarten]	60	81	1,68	2,27	19	62	0,53	1,74	3,2
д. Фалилеево, школа [Falileevo, School]	418	476	8,78	10,00	220	368	4,62	7,73	1,9
д. Большая Пустомержа, школа [Bol'shaya Pustomerzha, School]	704	1300	14,79	27,31	232	607	4,87	12,75	3,0

CA – среднее арифметическое значение; R_{L/I} – отношение значения средней дозы облучения по результатам интегральных измерений к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений.

[AM – arithmetic mean; R_{L/I} – ratio of average dose calculated from the results of long-term measurements to average dose calculated from the results of instant measurements.]

в соответствии с классификацией, установленной в ОСПОРБ 99/2010, а в Пустомержской СОШ – высоким, что при неправильной интерпретации результатов измерений может требовать внимания со стороны администрации или других органов исполнительной власти для проведения мероприятий по снижению уровня облучения данной когорты населения.

Однако при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений, выполненных в часы присутствия людей и наиболее объективно отражающих среднее значение содержания радона в воздухе помещений в режиме нормальной эксплуатации ДУ, средние дозы облучения при нахождении в помещениях ДУ оказались в 1,9–4,2 раза ниже и для всех 4 обследованных ДУ составили менее 5 мЗв/год.

На рисунке представлена структура дозы облучения, учитывающая не только нахождение людей в помещениях ДУ (на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений экспрессным методом), но и пребывание дома и вне помещений (на открытой местности).

Как видно из рисунка, наибольшая доза облучения была получена для учащихся и сотрудников школ д. Фалилеево (6,81 мЗв/год) и д. Большая Пустомержа (7,11 мЗв/год). Во всех случаях наименьший вклад в дозу облучения вносит пребывание на открытом воздухе, так как выделяющийся с поверхности грунта радон быстро

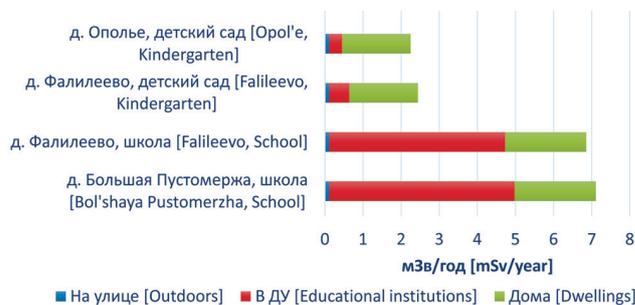


Рис. Структура дозы облучения обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР (на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом)

[Fig. Structure of the dose to students (pupils) and employees from exposure to radon and its progeny in the rooms of some educational institutions (based on the results of instant measurements of radon EEC)]

разбавляется атмосферным воздухом, и результирующая ОА невелика. Однако использование единого значения ЭРОА изотопов радона в Ленинградской области (47 Бк/м³) из ФБДОПИ для воздуха помещений жилых домов конкретных обследованных населенных пунктов вместо реальных значений не позволяет пока что однозначно судить о вкладе облучения радоном и его ДПР в жилых домах в суммарную дозу облучения.

Сравнительный анализ показал, что доза облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР в детском саду д. Ополье выше средней дозы облучения у населения Ленинградской области (1,83 мЗв/год) на 23% и на 13% выше средней дозы облучения у населения Российской Федерации в целом (2 мЗв/год), в детском саду д. Фалилеево – на 33% и 22% соответственно, в школе д. Фалилеево – в 3,7 раз и 3,4 раза соответственно, в школе д. Большая Пустомержа – в 3,9 раз и 3,6 раз соответственно.

Для учащихся и сотрудников Фалилеевской и Пустомержской СОШ доза облучения только за счет одного природного источника (изотопов радона и их ДПР) превышает 5 мЗв/год. Проведение радонозащитных мероприятий в ДУ и снижение значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений до гигиенического норматива (200 Бк/м³) не приведет к существенному снижению дозы облучения, которая составит в этом случае 6,4 мЗв/год. То есть облучение учащихся и сотрудников все равно будет классифицироваться как повышенное в соответствии с ОСПОРБ 99/2010 даже при соблюдении установленного норматива по содержанию радона в воздухе помещений ДУ (по верхней его границе) и без учета других ПИИИ. Данный факт закономерно ведет к выводу о том, что значение гигиенического норматива среднегодовой ЭРОА изотопов радона для существующих зданий (200 Бк/м³) не является в достаточной мере обоснованным целевым значением показателя при планировании радонозащитных мероприятий в таких зданиях.

Вклад остальных ПИИИ в дозу облучения населения в Ленинградской области значительно меньше и составляет в сумме 1,54 мЗв/год (за счет ⁴⁰K – 0,17 мЗв/год, космической компоненты – 0,331 мЗв/год, внешнего

терригенного облучения – 0,82 мЗв/год, продуктов питания – 0,153 мЗв/год, питьевой воды – 0,062 мЗв/год, ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с атмосферным воздухом – 0,006 мЗв/год) [35, 36]. Таким образом, суммарная доза облучения за счет всех ПИИИ для обучающихся и сотрудников детского сада д. Ополье составляет 3,75 мЗв/год, детского сада д. Фалилеево – 3,95 мЗв/год, школы д. Фалилеево – 8,35 мЗв/год, школы д. Большая Пустомержа – 8,65 мЗв/год.

Значения среднего индивидуального пожизненного риска смерти от радон-индуцированного рака легкого (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным и интегральным методами) для обучающихся и сотрудников ДУ представлены в таблице 2.

Таким образом, использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ интегральным методом приводит к увеличению показателей риска от 1,5 до 2,4 раз. С целью наглядного сравнения радиационных рисков у населения за счет различных источников ионизирующего излучения и акцентирования внимания на значимости облучения населения радоном были также рассчитаны значения среднего индивидуального пожизненного риска от потребления пищи и питьевой воды, содержащих природные радионуклиды, и среднего риска за счет медицинского облучения, которые оказались на 1–2 порядка величины ниже и составили $1,2 \cdot 10^{-5}$ и $1,4 \cdot 10^{-5}$ соответственно.

Результаты оценки рисков показали, что, согласно классификации, принятой для оценки уровней риска при воздействии химических веществ и радона [37], облучение воспитанников и сотрудников обследованных дет-

Таблица 2

Средние индивидуальные пожизненные риски смерти от радон-индуцированного рака легкого (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным и интегральным методами) для обучающихся и сотрудников

[Table 2

The average individual lifetime risks of radon-induced lung cancer death (based on the results of instant measurements of radon EEC and long-term measurements of radon concentration) for students (pupils) and employees

Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, institution]	Интегральный метод [Long-term measurements]		Экспрессный метод [Instant measurements]		R _{L/I} , отн. ед. [rel. un.]
	CA OA _{Рн} , Бк/м ³ [AM of radon concentration, Bq/m ³]	Риск [Risk]	CA OA _{Рн} , Бк/м ³ [AM of radon concentration, Bq/m ³]	Риск [Risk]	
д. Ополье, детский сад [Opol'e, Kindergarten]	100	5,6·10 ⁻⁴	24	3,8·10 ⁻⁴	1,5
д. Фалилеево, детский сад [Falileevo, Kindergarten]	120	6,0·10 ⁻⁴	38	4,1·10 ⁻⁴	1,5
д. Фалилеево, школа [Falileevo, School]	836	1,9·10 ⁻³	440	1,2·10 ⁻³	1,6
д. Большая Пустомержа, школа [Bol'shaya Pustomerzha, School]	1408	2,9·10 ⁻³	464	1,2·10 ⁻³	2,4

CA – среднее арифметическое значение; R_{L/I} – отношение значения среднего риска по результатам интегральных измерений к значению среднего риска по результатам экспрессных измерений.

[AM – arithmetic mean; R_{L/I} – ratio of average risk calculated from the results of long-term measurements to average risk calculated from the results of instant measurements.]

ских садов радоном и его ДПР (на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ как экспрессным, так и интегральными методами) является приемлемым для персонала и неприемлемым для населения в целом или, согласно классификации, принятой для оценки уровней риска от медицинского облучения¹², – низким. Облучение учащихся и сотрудников обследованных школ является, по классификации [37], неприемлемым ни для населения, ни для персонала (или умеренным по классификации медицинских рисков¹²). Сопоставление двух классификаций уровней риска приведено в таблице 3.

чения¹², – низким. Облучение учащихся и сотрудников обследованных школ является, по классификации [37], неприемлемым ни для населения, ни для персонала (или умеренным по классификации медицинских рисков¹²). Сопоставление двух классификаций уровней риска приведено в таблице 3.

Таблица 3

Классификации уровней риска

[Table 3

Risk level classifications		
Номер уровня, диапазон значений индивидуального пожизненного риска R_i [Level number, range of individual lifetime risk values R_i]		
Р 2.1.10.1920-04 ¹³ , моно- графия [37] [R 2.1.10.1920-04 ¹³ , monography [37]]	Описание [37] [Description [37]]	МР 2.6.1.0215-20 ¹² [MR 2.6.1.0215-20 ¹²]
I $R_i \leq 10^{-6}$	Уровень De minimis, который воспринимается населением как пренебрежимо малый, не отличающийся от уровня обычных, повседневных рисков. На этом уровне риски подлежат только периодическому контролю, и не требуется никаких специальных мероприятий по их снижению [De minimis level, which is perceived by the population as negligibly small, not different from the level of ordinary, everyday risks. At this level, risks are only subject to periodic monitoring, and no special measures are required to reduce them]	I. Пренебрежимо малый [I. Negligible] $R_i < 10^{-6}$
II $10^{-6} < R_i \leq 10^{-4}$	Предельно допустимый риск, верхняя граница приемлемого риска для населения в целом. На этом уровне риски подлежат постоянному контролю, а в некоторых случаях могут проводиться специальные мероприятия по их снижению [Maximum permissible risk, the upper limit of acceptable risk for the general population. At this level, risks are subject to continuous monitoring and in some cases special measures may be taken to reduce them]	II. Минимальный [II. Minimal] $10^{-6} < R_i \leq 10^{-5}$ III. Очень низкий [III. Very low] $10^{-5} < R_i \leq 10^{-4}$
III $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$	Уровень приемлем для персонала и неприемлем для населения в целом. Требуется разработка и проведение плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории [The level is acceptable for the staff and unacceptable for the general population. The development and implementation of remedial measures is required. In this case, planning of measures to reduce risks should be based on the results of a more detailed assessment of various aspects of existing problems and establishing the degree of their priority in relation to other hygienic, environmental, social and economic problems in the area]	IV. Низкий [IV. Low] $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$
IV $R_i > 10^{-3}$	Уровень De manifestis, неприемлемый ни для населения, ни для персонала. Необходимы рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска [De manifestis level, unacceptable neither for the population nor for the staff. Recommendations are needed for decision-makers on emergency remedial measures aimed at risk reduction]	V. Умеренный [V. Moderate] $10^{-3} < R_i \leq 3 \cdot 10^{-3}$

¹² Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований: Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.09.2020 г. [Radiation risk assessment for patients undergoing X-ray radiological examinations. Guidelines MR 2.6.1.0215-20. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 21.09.2020. (In Russ.)]

¹³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Руководство Р 2.1.10.1920-04. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 05.03.2004 г. [Guidelines for assessment of public health risk from exposure to chemicals polluting the environment. Guidelines R 2.1.10.1920-04. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 05.03.2004. (In Russ.)]

Заключение

Сравнительный анализ доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников 4 ДУ Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР показал, что разница между дозами облучения и радиационными рисками, рассчитанными на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ интегральными и экспрессными методами, существенна.

Использование результатов интегральных измерений ОА радона для расчета доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР приводит к их завышению. Таким образом, во избежание искажения реальной картины облучения и оценки состояния радиационной безопасности населения при обследовании эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей целесообразно проводить измерение содержания радона в воздухе помещений экспрессным методом, что соответствует сделанному нами ранее выводу [6].

Некорректный расчет и дальнейшая интерпретация показателей радиационной безопасности может стать причиной принятия необоснованных решений о необходимости проведения радонозащитных мероприятий в зданиях ДУ (согласно п. 5.1.2 ОСПОРБ 99/2010), требующих существенных финансовых затрат, особенно в ситуации, когда дозы облучения близки к пограничному значению в 10 мЗв/год.

В данном конкретном исследовании переход в расчетах радиационных рисков от использования результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ к использованию результатов интегральных измерений не приводит к изменению в ранжировании показателя риска (переходу с одного уровня на другой, согласно таблице 3). Но в иной ситуации, при большей разнице в содержании радона в воздухе помещений ДУ в рабочее и нерабочее время возможен переход с одного уровня риска на другой. При этом стабильно высокие значения показателя риска подтверждают важность обеспечения именно радиационной защиты населения при облучении изотопами радона и их ДПР в сравнении с рисками от прочих вредных факторов окружающей среды как ионизирующей, так и неионизирующей природы, являющихся причинами легочного канцерогенеза. Показатель риска, однако, является вспомогательным инструментом при принятии решений о проведении защитных мероприятий, который позволяет отдать приоритет тем зданиям ДУ, в которых реализованные мероприятия будут иметь максимальный эффект. Сам же факт необходимости проведения защитных мероприятий в здании устанавливается по результатам сравнения с нормативом результатов определения среднегодовой ЭРОА изотопов радона, а в список на первоочередное проведение мероприятий здание включается в случае превышения дозы облучения обучающихся и сотрудников порогового значения в 10 мЗв/год.

Результаты проведенной работы представляют определенную ценность для совершенствования методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных

зданий в Российской Федерации, что в дальнейшем позволит получать корректные значения доз облучения и радиационных рисков.

Персональное участие авторов

А.С. Васильев выполнил анализ литературных данных, провел расчет и анализ доз облучения и радиационных рисков, написал черновик рукописи и представил окончательный вариант статьи в редакцию журнала.

И.К. Романович осуществил общее руководство выполнением работы, проанализировал данные и отредактировал промежуточный вариант статьи.

Т.А. Кормановская проанализировала данные и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Д.В. Кононенко проанализировал данные, подготовил английский перевод и отредактировал промежуточный вариант статьи.

О.А. Историк организовала проведение исследований в Кингисеппском районе Ленинградской области и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Л.А. Еремина организовала проведение исследований в Кингисеппском районе Ленинградской области и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам детского сада д. Ополе, детского сада д. Фалилеево, школы д. Фалилеево и школы д. Большая Пустомержа Кингисеппского района Ленинградской области за участие в выполнении работ на этапах проведения измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ.

Авторы благодарны рецензентам за конструктивные замечания и предложения, которые позволили существенно улучшить качество статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовки данной статьи.

Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva: WHO Press, 2009. 110 p.
2. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону. Перевод публикации 115 МКРЗ. Под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2013. 92 с.
3. Радиологическая защита от облучения радоном. Перевод публикации 126 МКРЗ. Под ред. М.В. Жуковского, И.В. Ярмошенко, С.М. Киселева. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2015. 92 с.
4. Киселев С.М., Жуковский М.В., Стамат И.П., Ярмошенко И.В. Радон: От фундаментальных исследований к практике регулирования. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2016. 432 с.
5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 256 с.

6. Васильев А.С., Романович И.К., Кононенко Д.В., и др. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40.
7. Лосихина Ю. В Кузбассе снова закрыли детский сад из-за радиации. Readovka News: сетевое изд. 2019. 3 сен. URL: <https://readovka.news/news/48610> (дата обращения: 17.02.2022).
8. Климова Д. В Кемеровской области малыши ходили в радиоактивный детский сад. Readovka News: сетевое изд. 2019. 5 фев. URL: <https://readovka.news/news/41739> (дата обращения: 17.02.2022).
9. Похляк А. Российскую школу закрыли из-за радиоактивного газа. Lenta.ru: сетевое изд. 2021. 12 мая. URL: <https://lenta.ru/news/2021/05/12/radon/> (дата обращения: 17.02.2022).
10. Воронов К. В кинотеатре зафиксировали повышенный уровень радиации. Коммерсантъ: сетевое изд. 2017. 25 апр. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3281599> (дата обращения: 17.02.2022).
11. В Кузбасской школе обнаружено превышение радона и торона. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 11 дек. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25452808/> (дата обращения: 17.02.2022).
12. В поселке Белогорск из-за превышения радона в воздухе приостановили деятельность детского сада. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 11 июл. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25925602> (дата обращения: 17.02.2022).
13. Деятельность еще одного учреждения приостановлена из-за превышения уровня радона. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 6 дек. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document26341181> (дата обращения: 17.02.2022).
14. В Кузбассе судебные приставы приостановили деятельность еще одного объекта из за превышенного уровня радиации. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 17 окт. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25304491> (дата обращения: 17.02.2022).
15. В Кемеровском районе приостановлена деятельность второго объекта из-за превышения уровня радиации. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 24 апр. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24744762> (дата обращения: 17.02.2022).
16. Судебные приставы приостановили деятельность Дома культуры. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 19 апр. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24698192> (дата обращения: 17.02.2022).
17. Судебные приставы приостановили деятельность школьной столовой из-за превышения уровня радона. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2020. 28 фев. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document27580016> (дата обращения: 17.02.2022).
18. В Кемерове из-за превышения радона в воздухе частично приостановили деятельность детского сада. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 8 фев. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25583878> (дата обращения: 17.02.2022).
19. Еще в одном Кемеровском детсаду обнаружили превышение радона. Судебные приставы уже опечатали комнаты. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 17 июл. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25022615> (дата обращения: 17.02.2022).
20. В Кемерове из-за превышения радона в воздухе приостановили деятельность детского сада. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 11 июл. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25004892> (дата обращения: 17.02.2022).
21. Приставы приостановили деятельность кабинета «химия» // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2015. 25 мар. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document22766337> (дата обращения: 17.02.2022).
22. Приостановлена деятельность помещения на территории психоневрологического интерната из-за превышенного содержания радона // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 18 янв. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25525332> (дата обращения: 17.02.2022).
23. Тимин И. В иркутской школе выявили высокую концентрацию радона // РИА Новости: сетевое изд. 2020. 20 фев. URL: <https://ria.ru/20200220/1565023134.html> (дата обращения: 17.02.2022).
24. Усть-Илимский суд приостановил работу школы, где обнаружен радон // РИА Новости: сетевое изд. 2013. 15 фев. URL: <https://ria.ru/20130215/923007881.html> (дата обращения: 17.02.2022).
25. В алтайской школе закрыли спортзал из-за превышения уровня радона // РИА Новости: сетевое изд. 2019. 7 ноя. URL: <https://ria.ru/20191107/1560660296.html> (дата обращения: 17.02.2022).
26. Красноухов С. В Златоусте закрыли школьный спортзал из-за превышения уровня радона // РИА Новости: сетевое изд. 2018. 20 ноя. URL: <https://ria.ru/20181120/1533160661.html> (дата обращения: 17.02.2022).
27. В Приморье закрыли две группы детсада из-за превышения содержания радона // РИА Новости: сетевое изд. 2018. 11 апр. URL: <https://ria.ru/20180411/1518355125.html> (дата обращения: 17.02.2022).
28. Лосихина Ю. В Тульской области из-за радиации в музыкальной школе закрыли классы // Readovka News: сетевое изд. 2019. 27 сен. URL: <https://readovka.news/news/49432> (дата обращения: 17.02.2022).
29. Сасевич Ю. ФАП в алтайском селе закрыли из-за опасной концентрации радона // Коммерсантъ: сетевое изд. 2019. 10 дек. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4188410> (дата обращения: 17.02.2022).
30. В 13 школах Якутии превышен уровень радиации // SAKHALIFE.RU: сетевое изд. 2020. 24 янв. URL: <https://sakhalfire.ru/v-13-shkolah-yakutii-prevyshen-uroven-radiaczii/> (дата обращения: 17.02.2022).
31. Из-за превышения уровня радиоактивного радона опечатаны 4 кабинета в школе №3 Облучья ЕАО // Информационное агентство EAOMedia: сетевое изд. 2018. 15 дек. URL: <https://eaomedia.ru/news/770102/> (дата обращения: 17.02.2022).
32. Радиация в школе в ЕАО – из-за превышения опасного радона закрыт спортзал // Информационное агентство EAOMedia: сетевое изд. 2018. 15 ноя. URL: <https://eaomedia.ru/news/759984/> (дата обращения: 17.02.2022).
33. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. Annex B: Exposures from natural radiation sources. New York: United Nations, 2000. 76 p.
34. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II: Scientific Annexes C, D and E. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. New York: United Nations, 2009. 142 p.
35. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р., и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2019 году: информационный сборник. СПб: ООО «АРКУШ», 2020. 70 с.

36. Кононенко Д.В., Кормановская Т.А. Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 3. С. 78–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83.
37. Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия. Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. 432 с.
- Поступила: 21.03.2022 г.

Васильев Алексей Серафимович – аспирант, 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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.vasilev@niirg.ru

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

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, 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

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

Для цитирования: Васильев А.С., Романович И.К., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В., Историк О.А., Еремина Л.А. Сравнительная оценка доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых детских учреждений Ленинградской области в зависимости от методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 6-18. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-6-18

Comparative assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of several educational institutions in the Leningrad region, depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration

Alexey S. Vasilyev¹, Ivan K. Romanovich¹, Tatyana A. Kormanovskaya¹, Dmitry V. Kononenko¹, Olga A. Istorik², Lyudmila A. Eremina²

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

According to the annual information packet “Radiation exposure doses to the population of the Russian Federation”, internal exposure to radon has been the main contributor to the annual dose for the population for many years. The paper presents results of a comparative assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of four educational institutions in the Kingiseppsky district of the Leningrad region due to exposure to radon and its progeny. Evaluation of the doses and risks was based on results of instant and long-term measurements of indoor radon concentrations published earlier. Individual annual effective doses to students (pupils) and employees due to exposure to radon while in the building of an educational institution, calculated on the basis of the results of instant measurements of radon EEC, ranged from 0.34 to 4.87 mSv/year for different institutions. However, calculation on the basis of the results of long-term measurements of radon concentration resulted in the dose values 2–4 times higher (from 1.40 to 14.79 mSv/year). These results do not reflect the real exposure scenario, since solid-state nuclear track detectors were exposed continuously, including nights, weekends and holidays (i.e. periods of actual absence of people in the buildings of the educational institutions). Based on the results of instant measurements of radon EEC, the contribution of radon and its progeny to the individual annual effective dose due to all natural sources of ionizing radiation to students (pupils) and employees was 59% (2.21 mSv/year) in the kindergarten of Opol’e, 61% (2.41 mSv/year) in the kindergarten of Falileevo, 82% (6.81 mSv/year) in the school of Falileevo, and 82% (7.11 mSv/year) in the school of Bol’shaya Pustomerzha. According to the classification established in sanitary rules and norms OSPORB 99/2010, the exposure of students and employees of the surveyed schools is classified as “increased” (from 5 to 10 mSv/year) when using the results of instant measurements of radon EEC, and is classified as “high” when using the results of long-term measurements of radon concentration (more than 10 mSv/year). The average individual lifetime risk of radon-induced lung cancer death (based on the results of instant measurements of radon EEC) for students (pupils) and employees was $3.8 \cdot 10^{-4}$ in the kindergarten of Opol’e, $4.1 \cdot 10^{-4}$ in the kindergarten of Falileevo, $1.2 \cdot 10^{-3}$ in the school of Falileevo, and $1.2 \cdot 10^{-3}$ in the school of Bol’shaya Pustomerzha. However, calculation on the basis of the results of long-term measurements of radon concentration resulted in the risk values from 1.5 to 2.4 times higher. The results obtained can be used to improve the method of monitoring of indoor radon concentration in existing operated public buildings in the Russian Federation, which in turn will make it possible to obtain correct values of doses and health risks.

Key words: annual effective dose, radiation risk, internal exposure, radon, progeny, equilibrium equivalent concentration, natural sources of radiation, instant measurement, long-term measurement, public building, educational institution, Leningrad region.

The individual contributions of authors

A.S. Vasilyev analyzed literature data, calculated and analyzed doses and radiation risks, wrote a draft of the manuscript and arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

I.K. Romanovich provided general management of the project, analyzed the data and edited an intermediate version of the manuscript.

T.A. Kormanovskaya analyzed the data and edited an intermediate version of the manuscript.

D.V. Kononenko analyzed the data, translated the manuscript and edited an intermediate version of the manuscript.

O.A. Istorik organized research in the Kingiseppsky district of the Leningrad region and edited an intermediate version of the manuscript.

L.A. Eremina organized research in the Kingiseppsky district of the Leningrad region and edited an intermediate version of the manuscript.

Alexey S. Vasilyev

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

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

Acknowledgements

The authors would like to thank the employees of four educational institutions in the Kingiseppsky district of the Leningrad region for participating in the project.

The authors are also grateful to the reviewers for constructive comments and suggestions that have significantly improved the quality of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflicts of interest when conducting the study and preparing this article.

Sources of funding

The study had no sponsorship.

References

1. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva: WHO Press; 2009. 110 p.
2. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40. 2010;1. 64 p.
3. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43. 2014;3. 73 p.
4. Kiselev SM, Zhukovsky MV, Stamat IP, Yarmoshenko IV. Radon: From fundamental research to regulatory practice. Moscow: Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical-Biological Agency; 2016. 432 p. (In Russian)
5. On the state of sanitary and epidemiological wellbeing of the population in the Russian Federation in 2020: State report. Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; 2021. 256 p. (In Russian)
6. Vasilyev AS, Romanovich IK, Kononenko DV, Kormanovskaya TA, Saprykin KA, Balabina TA. Substantiation of methodical approaches to the control of indoor radon concentration in existing public buildings with non-round-the-clock stay of people. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40. (In Russian)
7. Losikhina Yu. In Kuzbass a kindergarten was closed again due to radiation. Available from: <https://readovka.news/news/48610> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
8. Klimova D. In the Kemerovo region kids went to a radioactive kindergarten. Available from: <https://readovka.news/news/41739> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
9. Pohilyak A. The Russian school was closed due to radioactive gas. Available from: <https://lenta.ru/news/2021/05/12/radon/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
10. Voronov K. The cinema recorded an increased level of radiation. Available from: <https://www.kommersant.ru/doc/3281599> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
11. Excess of radon and thoron was found in the Kuzbass school. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25452808/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
12. In the village of Belogorsk, due to the excess of radon in the air, the activities of the kindergarten were suspended. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25925602> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
13. The activity of another institution has been suspended due to exceeding the radon level. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document26341181> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
14. In Kuzbass, bailiffs suspended the activities of another institution due to the exceeded level of radiation. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25304491> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
15. In the Kemerovo region, the activity of the second institution has been suspended due to excess radiation levels. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24744762> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
16. Bailiffs suspended the activities of the House of Culture. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24698192> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
17. Bailiffs suspended the activities of the school cafeteria due to excess radon levels. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document27580016> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
18. In Kemerovo, due to the excess of radon in the air, the activities of the kindergarten were partially suspended. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25583878> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
19. An excess of radon was found in another Kemerovo kindergarten. Bailiffs have already sealed the rooms. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25022615> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
20. In Kemerovo, due to the excess of radon in the air, the activities of the kindergarten were suspended. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25004892> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
21. Bailiffs suspended the activity of the chemistry classroom. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document22766337> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
22. The activity of the premises on the territory of the psycho-neurological boarding school has been suspended due to the exceeded radon level. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25525332> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
23. Timin I. In the Irkutsk school revealed a high concentration of radon. Available from: <https://ria.ru/20200220/1565023134.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
24. Ust-Ilimsky court suspended the work of the school where radon was found. Available from: <https://ria.ru/20130215/923007881.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
25. In the Altai school, the gym was closed due to excess radon levels. Available from: <https://ria.ru/20191107/1560660296.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
26. Krasnoukhov S. In Zlatoust, the school gym was closed due to excess radon levels. Available from: <https://ria.ru/20181120/1533160661.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
27. In Primorye, two kindergarten groups were closed due to excess radon levels. Available from: <https://ria.ru/20180411/1518355125.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
28. Losikhina Yu. In the Tula region, classes were closed at a music school due to radiation. Available from: <https://readovka.news/news/49432> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
29. Stasevich Yu. The paramedic-obstetric station in the Altai village was closed due to the dangerous concentration of radon. Available from: <https://www.kommersant.ru/doc/4188410> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
30. Radiation levels exceeded in 13 schools of Yakutia. Available from: <https://sakhlife.ru/v-13-shkolah-yakutii-prevyshen-uroven-radiaczii/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
31. Due to the excess of the level of radioactive radon, 4 classrooms at school No. 3 of the Obluchya in the EAO were sealed. Available from: <https://eaomedia.ru/news/770102/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
32. Radiation at the school in the EAO – due to the excess of dangerous radon, the gym is closed. Available from: <https://eaomedia.ru/news/759984/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
33. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. Annex B: Exposures from natural radiation sources. New York: United Nations; 2000. 76 p.

34. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II: Scientific Annexes C, D and E. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. New York: United Nations; 2009. 142 p.
35. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Information packet: Radiation exposure doses to the population of the Russian Federation in 2019. St. Petersburg; 2020. 70 p. (In Russian)
36. Kononenko DV, Kormanovskaya TA. Assessment of the doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(3): 78–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83. (In Russian)
37. Romanovich IK, Stamat IP, Kormanovskaya TA, Kononenko DV. Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures. Saint-Petersburg: FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaeva; 2018. 432 p. (In Russian).

Received: March 21, 2022

For correspondence: Alexey S. Vasilyev – Postgraduate student, acting junior researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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, Russia; E-mail: a.vasilev@niirg.ru)

Ivan K. Romanovich – M.D., 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

Tatyana A. Kormanovskaya – Ph.D. in Biological Sciences, Leading researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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

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

Lyudmila A. Eremina – Ph.D., 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, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Vasilyev A.S., Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V., Istorik O.A., Eremina L.A. Comparative assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of several educational institutions in the Leningrad region, depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 6-18. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-6-18

Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии

Л.А. Чипига^{1,2,3}, А.В. Водоватов^{1,4}, И.А. Звонова¹, А.А. Станжевский², А.В. Петрякова^{5,6},
Е.Е. Анокина⁵, К.С. Величкина⁵, С.А. Рыжов^{7,8,9}

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 Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

⁶ Городская больница №40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

⁷ Ассоциация медицинских физиков России, Москва, Россия

⁸ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

⁹ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

В связи с развитием радионуклидной терапии, появлением новых для отечественной практики радиофармацевтических лекарственных препаратов, радионуклидов и методов лечения, которые позволяют проводить радионуклидную терапию в режиме дневного стационара, актуальным вопросом с точки зрения радиационной безопасности является обращение с радиоактивными отходами. Согласно действующему отечественному нормативно-методическому обеспечению, биологические отходы, образовавшиеся в процессе жизнедеятельности пациента после введения ему радиофармацевтических лекарственных препаратов с целью терапии, относятся к жидким радиоактивным отходам. Такие отходы необходимо собирать и выдерживать на распад в медицинских организациях до безопасных уровней до сброса их в хозяйственно-бытовую канализацию, что требует дополнительных затрат от медицинских организаций на спецканализацию. С целью оценки уровней активностей радионуклидов в отходах пациентов и обоснованности требования к наличию спецканализации в подразделениях радионуклидной терапии в работе было изучено выведение следующих терапевтических радиофармацевтических лекарственных препаратов: ⁸⁹Sr-дихлорид, ²²³Ra-дихлорид, ¹³¹I-МИБГ, ¹⁷⁷Lu-ПСМА и ²²⁵Ac-ПСМА. Результаты предварительных расчетов показали, что в условиях штатной работы системы канализации медицинских организаций некоторые процедуры ядерной медицины не приведут к образованию жидких радиоактивных отходов на выходе из системы водоотведения медицинских организаций за счет сброса в неё биологических отходов пациентов и спецканализация избыточна. Например, оценки активности радионуклидов в отходах показали, что объема действующей системы водоотведения даже небольшой медицинских организаций со стационаром в 50 коек достаточно для снижения удельной активности радионуклидов в отводимых из медицинских организаций водах за счет сбросов отходов от одного пациента в день после радионуклидной терапии с ⁸⁹Sr-хлорид и ²²³Ra-дихлорид. Актуальными являются пересмотр требования к наличию спецканализации во всех подразделениях радионуклидной терапии, и создание дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в отделениях ядерной медицины, обеспечивающего защиту окружающей среды и радиационную безопасность людей. Это требует продолжения научно-исследовательской работы с разработкой и моделированием реалистичных сценариев облучения персонала и населения, подтвержденных экспериментальными данными.

Ключевые слова: ядерная медицина, радионуклидная терапия, биовыведение радиофармпрепаратов, жидкие радиоактивные отходы.

Чипига Лариса Александровна

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: larisa.chipiga@gmail.com

Введение

В последнее время интенсивное развитие медицинских технологий привело к развитию новых методов диагностики и лечения с применением источников ионизирующего излучения. Одним из наиболее перспективных вариантов развития данного направления медицины является ядерная медицина, включающая радионуклидную диагностику (РНД) и радионуклидную терапию (РНТ). Данные методы применяются для диагностики и лечения как онкологических, так и неонкологических заболеваний путем введения в организм пациента радиофармацевтического лекарственного препарата (РФЛП) – химического соединения определенного радионуклида и лекарственного средства, избирательно накапливающегося в области интереса (опухоли или зоны поражения). При этом используются открытые источники ионизирующего излучения, которые непосредственно вводятся в организм различными способами (внутривенно, перорально, интратуморально, интраартикулярно и т.д.) [1, 2]. В настоящее время для лечения костных метастазов используются остеотропные РФЛП на основе ^{89}Sr , ^{153}Sm и ^{223}Ra . Также благодаря прогрессу в области изучения механизмов трансформирования раковых клеток появилось новое направление – таргетная радионуклидная терапия, в частности, на основе простатического специфического мембранного антигена (ПСМА) для терапии распространенного кастрационно-резистентного рака предстательной железы и пептидов с ^{177}Lu и ^{225}Ac [3]. По данным Формы № 30 Минздрава России за 2020¹ год, в России было проведено 10 235 процедур РНТ, из которых 72% процедур с ^{131}I , 25% с остеотропными РФЛП и 3% с другими РФЛП.

Появление новых радионуклидов с оптимальными физико-химическими свойствами и РФЛП для РНТ на их основе, обладающих все более возрастающими способностями селективного накопления в области интереса, обусловило возможность проведения РНТ без госпитализации пациента в круглосуточный стационар, при условии непревышения среднегодового предела дозы техноген-

ного облучения для населения² [4] у критической группы населения – лиц, живущих с пациентом во время лечения. Возможность проведения РНТ в условиях дневного стационара (в условиях, обеспечивающих круглосуточное медицинское наблюдение и лечение) также предусмотрена в документах Минздрава России³. Проведение РНТ в режиме дневного стационара не требует организации «активных» палат⁴, что создает предпосылки для ее проведения на базе уже существующих отделений РНД. Такая возможность повышает доступность РНТ в стране. Практически все требования к отделениям РНТ можно реализовать в отделениях РНД, за исключением требований к обращению с биологическими отходами пациентов.

В соответствии с действующими нормативно-методическими документами⁵ подразделения РНД не требуют организации спецканализации для сбора биологических жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Однако, согласно требованиям, предъявляемым к проведению РНТ⁶, ЖРО должны собираться в накопительных баках для снижения их активности до уровней, позволяющих произвести их сброс в хозяйственно-бытовую канализацию. При этом отдельно выделяется необходимость подключения к спецканализации унитаза в туалете для амбулаторных больных. Следует отметить, что СанПиН 2.6.1.2368-08, в котором сформулированы эти требования, разрабатывался около 15 лет назад, когда в стране проводилась РНТ, в основном, с использованием ^{131}I в стационарных условиях.

Дополнительными ограничивающими факторами для обращения с ЖРО являются следующие требования⁷:

- проведение работ с открытыми радионуклидными источниками (радиоактивными веществами в открытом виде) без наличия условий для сбора и временного хранения радиоактивных отходов не допускается;
- на радиационных объектах, где возможно образование значительного количества ЖРО (более 200 л в день), проектом должна быть предусмотрена система спецканализации;

¹ Приказ Росстата от 30.12.2020 г. № 863 «Об утверждении формы № 30». [Federal State Statistics Service issued order No. 863 on 30 December 2020 "On the approval of the form No. 30". (In Russ.)]

² СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009». [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2523-09. Radiation safety standards 99/2009. (In Russ.)]

³ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19.02.2021 г. № 116н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях» (зарегистрирован 01.04.2021 г. № 62964) [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 116n dated February 19, 2021 «On approval of the Procedure for providing medical care to adults with oncological diseases» (Registered 01.04.2021 No. 62964) (In Russ.)]

⁴ Активная радиологическая палата – специализированные больничные помещения для госпитализации пациентов с введенными радиофармпрепаратами. СанПиН 2.6.1.2368-08 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников» (далее – СанПиН 2.6.1.2368-08). [Active radiology ward – specialized hospital rooms for hospitalization of patients with injected radiopharmaceuticals. Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2368-08 «Hygienic requirements for radiation safety during radiation therapy using open radionuclide sources» (In Russ.)]

⁵ МУ 2.6.1.1892-04 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов» [Methodical guidelines 2.6.1.1892-04 «Hygienic requirements for radiation safety during radionuclide diagnostics using radiopharmaceuticals» (In Russ.)]; СанПиН 2.6.1.3288–15 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии» [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.3288–15 «Hygienic requirements for ensuring radiation safety in the preparation and conduct of positron emission tomography» (In Russ.)]

⁶ п. 2.5.19 СанПиН 2.6.1.2368-08.

⁷ СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). [Sanitary rules and regulations 2.6.1.2612-10. Basic sanitary rules for radiation safety (BSRRSP-99/2010). (In Russ.)]

– радиоактивные отходы (РАО), содержащие радионуклиды с периодом полураспада менее 15 суток, собираются отдельно от других РАО и выдерживаются в местах временного хранения для снижения их удельной активности до допустимых уровней⁸;

– разбавление жидких РАО с целью снижения их активности запрещается.

Не во всех отделениях РНД возможно организовать спецканализацию, как в силу конструктивных особенностей, так и в силу экономических затрат, что тормозит развитие ядерной медицины в стране. Помимо этого, сбор таких биологических отходов и выдержка их на распад может приводить к дополнительному необоснованному облучению персонала при обслуживании и контроле спецканализации [5–7]. Стоит отметить, что эти отходы пациентов поступают в хозяйственно-бытовую канализацию МО, где происходит естественное снижение их концентрации «неактивными» сточными водами системы водоотведения. Объемы водопотребления и водоотведения в МО зависят от числа потребителей (коеchnый фонд, штат сотрудников, наличие лабораторий, поликлиники, столовой, прачечной и пр.). Например, крупные стационары с большим коечным фондом, штатом сотрудников и несколькими лабораториями могут потреблять 200–300 м³ воды в сутки. Такой объем воды в сточных водах может позволить снизить удельную активность радионуклидов в отходах от пациентов после РНТ естественным образом при штатной работе системы водоотведения МО.

Цель исследования – оценить обоснованность требования к наличию спецканализации в подразделениях РНТ на основании полученных данных об объемных активностях радионуклидов на выходе системы водоотведения медицинской организации (МО), осуществляющих введение пациентам РФЛП.

Материалы и методы

Работа была выполнена для следующих РФЛП, применяемых в РНТ: ⁸⁹Sr-хлорид, ²²³Ra-дихлорид, ¹³¹I-МИБГ, ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617 и ²²⁵Ac-ПСМА-617, с целью определения активностей радионуклидов в отходах пациентов. Оценки выведения РФЛП проводились для 4 ч нахождения пациентов в МО после введения РФЛП, дополнительно оценивали выведение для случая пребывания пациента в МО 48 ч для наблюдения за состоянием здоровья и 96 ч для ¹³¹I-МИБГ.

При оценке естественного снижения удельной активности радионуклидов в отходах от пациентов в водах канализационной системы МО использовали критерии отнесения к ЖРО (табл. 1).

Таблица 1

Радионуклиды, их периоды полураспада [8] и предельные значения удельной активности отнесения их к жидким радиоактивным отходам⁸

[Table 1

Radionuclides, half-lives and limit values of specific activity that classifying it as a liquid radioactive waste]

Радионуклид [Radionuclide]	Период полураспада [Half-life]	Предельные значения удельной активности (С _{предельное}), Бк/г [Limit values of specific activity, Bq/g]
¹³¹ I	8,02 сут [d]	0,62
⁸⁹ Sr	50,53 сут [d]	5,3
²²³ Ra	11,43 сут [d]	0,14
¹⁷⁷ Lu	6,17 сут [d]	25
²²⁵ Ac	10 сут [d]	0,028*

*Значение по материнскому нуклиду ²²⁹Th в условиях равновесия с дочерними радионуклидами [a value was used for the parent radionuclide ²²⁹Th, considered equilibrium with daughter radionuclides].

Определение выведенной активности радионуклидов

Значения выведенной активности для ⁸⁹Sr-хлорида, ¹³¹I-МИБГ, ²²³Ra-дихлорида, ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617 были получены на основании данных из литературных источников [9–17]; для ²²⁵Ac-ПСМА-617 – рассчитаны на основании литературных данных для ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617. Для этого был проведен поиск и обзор научных публикаций с использованием базы данных PubMed Central. Поиск был осуществлен по ключевым словам: «¹³¹I-mIBG», «²²³Ra-dichloride», «⁸⁹Sr-dichloride», «¹⁷⁷Lu-PSMA», «²²⁵Ac-PSMA», «biodistribution», «excretion», «urine excretion», «elimination» «biological half-life», «effective half-life». Также были изучены Публикации 53, 80, 106 и 128 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [9, 14–16]. Для каждого литературного источника были проанализированы данные о биораспределении и выведении РФЛП. Выведенная активность всех РФЛП была определена за время пребывания пациента в МО с учетом специфичности медицинской процедуры с конкретным РФЛП. Выведение большинства рассматриваемых РФЛП происходит преимущественно с помощью мочевого выделительной системы (с мочой), за исключением ²²³Ra-дихлорида, который преимущественно выводится через желудочно-кишечный тракт (с калом).

Выведение РФЛП определяли в разные моменты времени на основании полученных данных по формуле (1):

⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069 of October 19, 2012 « On the criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, classifying radioactive waste as special radioactive waste and as radioactive waste to be disposed of criteria for classifying radioactive waste to be disposed of» (In Russ.)]

$$\frac{A_{\text{вывед}}}{A_{\text{введ}}} = \exp(-\lambda_{\text{phys}} t) \cdot \sum_{j=1}^n a_j (1 - \exp(-\lambda_{\text{bio } j} t)), \quad (1)$$

где $A_{\text{вывед}}$ – выведенная активность (Бк); $A_{\text{введ}}$ – введенная активность (Бк); λ_{phys} – скорость физического распада радионуклида (сут⁻¹); $\lambda_{\text{bio } j}$ – скорость биологического выведения j-й фазы (сут⁻¹); a_j – доля активности для j-й фазы (отн.ед.); t – время после введения РФЛП (сут). Параметры выведения РФЛП из формулы 1 представлены в таблице 2.

На сегодняшний день данные о выведении ²²⁵Ac-ПСМА-617 сильно ограничены. В связи с этим в настоящей работе была использована методика расчета выведенной активности на основании экспериментальных данных о ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617 из работы J. Kurth et al. [13]. Поскольку метаболическое накопление РФЛП в организме, в основном, определяется биологическим носителем, с которым связан радионуклид, предполагали, что выведение РФЛП на основе ПСМА: ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617 и ²²⁵Ac-ПСМА-617 аналогичны друг другу. В работе J. Kurth et al. представлены результаты измерения остаточной активности ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617 во всем теле в разные промежутки времени. Для оценки выведенной активности для РФЛП на основе ПСМА, меченных ²²⁵Ac, были определены сначала эффективная ($\lambda_{\text{эфф}} = \lambda_{\text{bio}} - \lambda_{\text{phys}}$), а затем биологическая (λ_{bio}) скорости выведения ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617.

Расчет объема сточных вод в системе водоотведения, достаточного для прямого сброса отходов

В связи с тем, что биологические отходы пациентов попадают в систему канализации МО, считали, что при штатной работе системы водоотведения смешивание отходов от пациентов из подразделений РНТ со сточными водами в МО из других источников (например, стационарные палаты, администрация, столовая) и снижение их концентрации являются естественным технологическим процессом. В работе сопоставление с критерием отнесения отходов к радиоактивным проводили с учетом смешивания сточ-

ных вод в системе водоотведения всей МО, считая, что на выходе из системы водоотведения МО в общегородскую систему удельная активность радионуклидов в отходах не должна превышать предельных значений.

Объем (V) сточных вод в системе водоотведения, достаточный для естественного снижения удельной активности радионуклидов за счет сбросов отходов пациентов до предельных значений, определяли согласно формуле (2):

$$V = \frac{A_{\text{вывед}}}{C_{\text{предельное}}}. \quad (2)$$

Для каждого РФЛП определили число коек, число сотрудников и прочих потребителей на основании норм потребления воды⁹ (табл. 3). Объем сточных вод системы водоотведения считали равным водопотреблению, не учитывая потери воды в процессе ее использования. При этом считали, что МО с коечным фондом до 100 пациентов имеют в своем составе администрацию со штатом сотрудников, отделение РНТ, аптеку и столовую, более крупные МО дополнительно имеют в своем составе поликлинику и лаборатории, МО с коечным фондом более 1000 дополнительно имеют в своем составе бассейн.

Дополнительно рассчитали выведение активности радионуклидов с отходами за первые сутки (сутки с наибольшим выведением активности радионуклида) после выписки пациента из МО при процедуре, проводимой в условиях дневного стационара. Для пациентов с ¹³¹I-МИБГ выведение оценивали после нахождения 96 ч в стационаре. На основании проделанных расчетов определили необходимый для снижения активности отходов пациента ниже уровня отнесения к ЖРО объем сточных вод в системе канализации дома, где пациент находится после выписки из МО, и соответствующее число жителей дома, обеспечивающее такое водопотребление.

Расчет объема специализированной канализации для МО

Объем спецканализации зависит от смываемых в нее ЖРО, то есть от пациентов, проходящих процедуры, их

Таблица 2

Параметры выведения радиофармпрепаратов (РФЛП) из формулы 1

[Table 2

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Parameters of the radiopharmaceutical (RPD) excretion model]				
	Параметр [Parameter]				
	λ_{phys}	a_1	$\lambda_{\text{bio } 1}$	a_2	$\lambda_{\text{bio } 2}$
¹³¹ I-МИБГ [9] [¹³¹ I-MIBG]	0,087	0,37	5,5	0,63	0,48
⁸⁹ Sr-дихлорид [10] [⁸⁹ Sr-dichloride]	0,014	0,33	0,69	0,37	0,1
²²³ Ra-дихлорид [11,12] [²²³ Ra-dichloride]	0,06	1	0,53	–	–
¹⁷⁷ Lu-ПСМА [13] [¹⁷⁷ Lu-PSMA]	0,112				
²²⁵ Ac-ПСМА [13] [²²⁵ Ac-PSMA]	0,069	0,72	9,6	0,28	0,24

⁹ СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» (далее - СП 30.13330.2020) [Sanitary rules and regulations 30.13330.2020 "Internal water supply and sewerage of buildings". (In Russ.)]

Расчетные значения потребления воды в медицинской организации (МО) и после выписки¹⁰

Таблица 3

[Table 3

Calculated values of water consumption in a hospital and after relise]

Водопотребитель [Water consumer]	Единицы измерения [Units]	Нормы расхода воды, л/сут [Water consumption rates, l/d]
В МО [in the hospital]		
Стационар [Hospital]	1 койка [bed]	200
Администрация [Administration]	1 сотрудник [employee]	12
Аптека с лабораторией [Pharmacy with laboratory]	1 сотрудник [employee]	310
Химическая лаборатория [Chemical Laboratory]	1 сотрудник [employee]	460
Биологическая лаборатория [Biological Laboratory]	1 сотрудник [employee]	310
Столовая [Canteen]	1 блюдо [dish]	12
Поликлиника [Polyclinic]	1 посетитель [visitor]	13
Бассейн* (25 м 4,5 м 1,5 м) [swimming pool]		
Пополнение бассейна [Pool replenishment]	10% объема [of the volume]	16,9
Посетители [Visitors]	1 посетитель [visitor]	100
Проходной ножной душ [Walk-through foot shower]	1 смена [work shift]	720
Мытье обходных дорожек [Washing of swimming pool paths]	м ² [m ²]	6
Дома [at home]		
Жилой дом [Residential building]	1 житель [resident]	180

числа и времени, требующегося для выдержки ЖРО до предельных значений удельной активности радионуклида в них (см. табл. 1).

При расчете учитывали, что в среднем каждый пациент посещает туалет каждые 3 ч. При одном посещении туалета он дважды полностью сливает сливной бак объемом 6 л. Время выдержки определяли по формуле (3):

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{C_{\text{предельное}}}{C}\right) \cdot T_{1/2}}{\ln 2}, \quad (3)$$

где $C_{\text{предельное}}$ – предельное значение удельной активности радионуклида; C – значение удельной активности радионуклида в спецканализации в момент времени t ; $T_{1/2}$ – физический период полураспада радионуклида.

При сборе ЖРО в баках-накопителях может достигаться равновесная удельная активность, например, для короткоживущих радионуклидов или при редком пополнении спецканализации удельная активность в баке не будет расти за счет того, что скорость роста удельной активности будет ниже, чем скорость ее снижения вслед-

ствие физического распада радионуклида. Для такого сценария считали, что один бак позволит снизить удельную активность в отходах пациентов за счет выдержки до предельных значений. В других случаях проводили расчет оптимального объема и числа баков с учетом того, что время накопления одного бака будет равно времени выдержки другого.

Результаты и обсуждение

Вводимые активности радионуклидов в РФЛП для стандартного пациента (75 кг), оценки выведения радионуклидов из организма пациента, а также объем канализационных сбросов МО, достаточный для естественного снижения удельной активности радионуклидов ниже уровня отнесения к ЖРО, представлены в таблице 4. Представленный расчет проведен для активности радионуклидов в отходах от 1 пациента за день. При большем числе пациентов, проходящих РНТ, расчетное значение объема сточных вод в канализации, обеспечивающее естественное снижение удельной активности до предельных значений, увеличивается прямо пропорционально числу пациентов.

¹⁰ СП 30.13330.2020

Таблица 4

Радиофармпрепараты (РФЛП), вводимые пациентам активности радионуклидов в РФЛП, время их нахождения в медицинской организации (МО) и выведение радионуклидов из организма пациентов (в расчете на 1 пациента)

[Table 4

Radiopharmaceuticals, administered radionuclide activities, patients' time in the hospital, and the excretion of radionuclides from the body (per a patient)]

РФЛП [Radiopharmaceuticals]	Средняя вводимая активность, МБк [Average administered activity, MBq]	Время нахождения в МО, ч [Time in the hospital, h]	Выведенная активность, МБк (% от введенной) с учетом распада [Excreted activity, MBq (% of the administered activity), considering decay]	Объем канализации для снижения удельной активности в отходах от одного пациента/сутки**, м ³ [The volume of sewerage for waste dilution from one patient/day**, m ³]	Объем медицинской организации (число коек) [The size of hospital (number of beds)]
¹³¹ I-МИБГ [¹³¹ I-MIBG]	11 000 [17]	96	6700 (61%), первые сутки [day] 5 720 (52%)	9 226	н/д*
		4	5,3 (3,5%)	1	3
⁸⁹ Sr-дихлорид [⁸⁹ Sr-dichloride]	150 [18]	48	46 (31%), первые сутки [first day] 32 (21%)	8,5	40
		4	0,321 (8%) [9]	2,3	8
²²³ Ra-дихлорид [²²³ Ra-dichloride]	4,015 [19]	48	2,3 (58%), первые сутки [first day] 1,55 (39%)	11,1	45
		4	3830 (59%)	154	530
¹⁷⁷ Lu-ПСМА [¹⁷⁷ Lu-PSMA]	6 500 [13]	48	4500 (69%), первые сутки [first day] 4 700 (72%), вторые сутки [second day] 0,27 (4%)	188	660
		4	4,44 (59%)	159	600
²²⁵ Ac-ПСМА [²²⁵ Ac-PSMA]	7,5 [20]	48	5,57 (74%), первые сутки [first day] 5,6 (75%), вторые сутки [second day] 0,34 (5%)	200	760

*н/д – недостижимо при потоке пациентов согласно таблице 5 [can not be achievable with the numbers of patients according to the table 5]; ** рассмотрены сутки с большим выведением (первые сутки) [a day with the largest excreted activity (the first day) is considered].

Результаты оценки активностей радионуклидов в отходах пациентов для рассмотренных терапевтических РФЛП показали, что за 1 год при заданном графике работы (табл. 5) в отделении может образовываться 3,9 ТБк ¹³¹I или, в случае работы в условиях дневного стационара, 1,5 ГБк ⁸⁹Sr, 60 МБк ²²³Ra, 0,4 ТБк ¹⁷⁷Lu, 0,4 ГБк ²²⁵Ac. Однако необходимо учитывать, что эти активности поступают в канализацию равномерно на протяжении все-

го года. Также необходимо отметить, что активности радионуклидов, ежедневно поступающих в канализацию (см. табл. 4) за время нахождения в канализационной системе значительно снизятся в связи с коротким периодом их полураспада.

Проведенные в работе оценки демонстрируют, что объёма сточных вод системы водоотведения даже небольшой МО со стационаром в 50 коек достаточно для

естественного снижения ниже уровня отнесения к ЖРО удельной активности радионуклидов в сточных водах на выходе системы водоотведения МО после проведения РНТ одного пациента в день с использованием ^{89}Sr -дихлорида и ^{223}Ra -дихлорида. Большие объёмы сточных вод системы канализации МО потребуются для естественного снижения удельной активности радионуклидов в отходах от пациента после введения ^{225}Ac -ПСМА (760 коек) или ^{177}Lu -ПСМА (660 коек).

Полученные результаты показали, что при проведении РНТ с ^{89}Sr -дихлоридом и ^{223}Ra -дихлоридом спецканализация не требуется, так как снижение удельной активности радионуклидов ниже уровня отнесения к ЖРО произойдет естественным образом в канализационной системе МО. Обращение с такими отходами необходимо планировать с учетом РФЛП, потока пациентов, вводимой пациенту активности, скорости выведения РФЛП из организма, времени нахождения пациента в МО, а также объема самой МО и объёма сточных вод в системе ее водоотведения.

Проведение некоторых процедур РНТ может приводить к образованию отходов с высокими удельными активностями радионуклидов, которые не могут быть снижены до уровня отнесения к ЖРО в системе водоотведения МО. В таком случае необходимо собирать и выдерживать такие отходы в специальных емкостях в МО для снижения удельной активности радионуклидов в них ниже уровня отнесения к ЖРО, т.е. предусматривать систему спецканализации. В таблице 5 представлены объемы баков, обеспечивающие выдержку ЖРО для снижения активности в них до предельных уровней. Для отходов, образующихся при РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом, ^{177}Lu -ПСМА и ^{225}Ac -ПСМА в условиях дневного стационара, достаточно будет 2 баков объемом 0,5 м³. При этом время выдержки каждого бака будет составлять не более 3 месяцев. Большие объемы спецканализации потребуются

для снижения активности в отходах при проведении РНТ в случае госпитализации пациентов в стационар. Однако объем спецканализации должен определяться в каждом случае индивидуально в зависимости от задач МО, РФЛП и потока пациентов.

Оценка выведения активности радионуклидов в отходах пациента после выписки его из МО показала, что только после РНТ с ^{89}Sr -дихлоридом и ^{223}Ra -дихлоридом активность радионуклидов в отходах после выписки превышает активность в отходах, которая образуется во время нахождения пациента в МО (табл. 6). Для остальных РФЛП выведение радионуклидов из организма пациента происходит в первые часы, когда он находится в МО. Действующей системы водоотведения многоквартирного дома или микрорайона будет достаточно для естественного снижения удельной активности радионуклидов ниже уровня отнесения отходов к ЖРО для всех рассмотренных в работе РФЛП.

Полученные в работе результаты показали, что в условиях штатной работы системы канализации МО некоторые процедуры РНТ не приведут к образованию ЖРО на выходе из системы водоотведения согласно текущим критериям за счет сброса в неё биологических отходов пациентов. В связи с этим считаем целесообразным проведение пересмотра требования к наличию спецканализации во всех подразделениях РНТ и выработки дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в отделениях ядерной медицины.

Отдельно стоит отметить, что текущие критерии отнесения к ЖРО определены как 100 уровней вмешательства для питьевой воды [21], не учитывают отдельных радионуклидов, применяемых в ядерной медицине, и неоднократно подвергались критике разных авторов [6, 21]. Такие критерии, связанные с уровнями вмешательства для питьевой воды, не подходят для сценария обра-

Таблица 5

Данные о графике посещения пациентами медицинской организации (МО), соответствующем объеме жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и времени, необходимом для выдержки их до предельных значений

[Table 5

Data on the schedule of visits hospital by patients, the corresponding volume of liquid waste, and the time required to keep them to safe levels]

РФЛП [radiopharmaceutical]	График посещения [Visiting schedule]	Время нахождения в МО, ч [Time in the hospital, h]	Объём бака, м ³ [Tank volume, m ³]	Число баков [Number of tanks]
^{131}I -МИБГ [^{131}I -MIBG]	12 пациентов в неделю [patients per week]	96	20	4
^{89}Sr -дихлорид [^{89}Sr -dichloride]	12–13 пациентов в день – 1 раз в 2 недели [patients per day – once in 2 weeks]	4	1,5	3
		48	2,2	3
^{223}Ra -дихлорид [^{223}Ra -dichloride]	7–8 пациентов в день – 1 раз в 2 недели [patients per day – once in 2 weeks]	4	0,4	2
		48	4,4	2
^{177}Lu -ПСМА [^{177}Lu -PSMA]	2 пациента в неделю в 1 день [patients per week in 1 day]	4	0,5	2
		48	3,5	2
^{225}Ac -ПСМА [^{225}Ac -PSMA]	2 пациента в неделю в 1 день [patients per week in 1 day]	4	0,3	2
		48	2,3	2

Радиофармпрепараты (РФЛП), время нахождения пациента в медицинской организации (МО) и выведение радионуклидов из организма пациента после выписки

[Table 6]

Radiopharmaceuticals, patients' time in the hospital, and the excretion of radionuclides from the body after relise (per 1 patient)]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Время нахождения в МО, ч [Time in the hospital, h]	Выведенная активность, МБк (% от введенной) с учетом распада [Excreted activity, MBq (% of the administered activity), considering decay]	Объем канализации для снижения удельной актив- ности в отходах от одного пациента/сутки*, л [The volume of sewerage for waste dilution from one patient/day*, l]	Число жителей [Number of resident]
¹³¹ I-МИБГ [¹³¹ I-MIBG]	96	303 (2,6%)	488 710	2715
⁸⁹ Sr-дихлорид [⁸⁹ Sr-dichloride]	4	27 (18%)	5 100	29
²²³ Ra-дихлорид [²²³ Ra-dichloride]	4	1,25 (31%)	9 000	50
¹⁷⁷ Lu-ПСМА [¹⁷⁷ Lu -PSMA]	4	1181 (18%)	47 200	262
²²⁵ Ac-ПСМА [²²⁵ Ac-PSMA]	4	1,41 (19%)	50 400	280

* рассмотрены сутки с большим выведением (первые сутки) [a day with the largest excreted activity (the first day) is considered].

щения с рассматриваемыми отходами, образующимися в ядерной медицине, которые попадают в канализацию и проходят серьезное разбавление и распад до попадания в открытые водоемы. Например, в условиях крупного города, существенного удаления комплекса очистных сооружений от МО и большого естественного снижения концентрации отходов пациентов после РНТ сточными водами городской системы канализации следует рассмотреть вопрос о целесообразности формирования специальных требований к удельной активности медицинских радионуклидов в сточных водах от МО. Для создания обоснованных требований, обеспечивающих защиту окружающей среды и радиационную безопасность населения и персонала, требуется продолжение научно-исследовательской работы с разработкой и моделированием реалистичных сценариев облучения персонала и населения, подтвержденных экспериментальными данными.

Заключение

В соответствии с действующими нормативно-правовыми актами проведение РНТ в условиях дневного стационара без системы спецканализации запрещено. Тем не менее, для ряда терапевтических радионуклидов достаточное снижение удельной активности радионуклидов в отходах пациента происходит естественным образом в системе водоотведения МО без использования спецканализации.

Следующим этапом работы должно стать экспериментальное исследование активности радионуклидов в биологических отходах пациентов и сточных водах канализационной системы отделений ядерной медицины и МО в целом. Необходима разработка и верификация сценариев внешнего и внутреннего облучения критических групп населения за счет попадания ЖРО в канализацию МО. Это позволит обосновать дифференцированные подходы к обращению с биологическими отходами па-

циентов в отделениях ядерной медицины с учетом того, что дозы облучения людей и уровни радиоактивного загрязнения объектов среды обитания не приведут к радиационным рискам, превышающим пренебрежимо малый радиационный риск.

Ограничения работы: расчеты, представленные в работе, основывались на литературных данных о фармакокинетике РФЛП в организме пациента и моделях биовыведения РФЛП из организма. При расчетах не было учтено, что поступление отходов от пациентов в канализацию носит импульсный характер, считалось, что снижение их концентрации происходит за счет смешивания таких отходов с суточным объемом воды в системе водоотведения МО. Объемы сброса воды в систему водоотведения оценивались расчетным путем на основании норм водопотребления.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают свою благодарность Михаилу Исааковичу Балонову за помощь при анализе и интерпретации полученных данных.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора «Разработка и научное обоснование комплекса мер по обеспечению радиационной защиты в ядерной медицине».

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Л.А. Чипига – научное руководство исследованием, определение цели, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, обработка и анализ полученных результатов, написание текста.

А.В. Водоватов – разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

И.А. Звонова – анализ и интерпретация результатов.

А.А. Станжевский – поиск и анализ литературы, описание текущего состояния ядерной медицины в стране и проблематики.

А.В. Петрякова – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, описание материалов и методов, перевод.

Е.Е. Анокина – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, редактирование статьи.

К.С. Величкина – поиск и анализ литературы, проведение расчетов.

С.А. Рыжов – анализ результатов, редакция промежуточного текста.

Литература

1. Хмелев А.В. Ядерная медицина: физика, оборудование, технологии: учебное пособие для образовательных учреждений, реализующих дополнительные профессиональные программы повышения квалификации врачей и профессиональной переподготовки по соответствующим специальностям. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы. Москва: НИЯУ «МИФИ», 2018. 439 с.
2. Румянцев П.О., Корнев С.В. История появления терапии радиоактивным йодом // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2015. Т. 11, № 4. С. 51–55. <https://doi.org/10.14341/ket2015451-55>
3. Воронцова М.С., Кармакова Т.А., Панкратов А.А., и др. Современные тенденции развития таргетной радионуклидной терапии // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т. 66, № 6. С. 63–70. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2021-66-6-63-70>
4. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А. Радиологические критерии выписки пациента из клиники после радионуклидной терапии или брахитерапии с имплантацией закрытых источников // Радиационная гигиена. 2016. Т. 2, № 4. С. 5–9.
5. IAEA, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation, IAEA Safety Standards Series No. SSG-46, IAEA, Vienna. 2018.
6. Наркевич Б.Я. Актуальные вопросы обращения с радиоактивными отходами в ядерной медицине // Радиоактивные отходы. 2022. № 1 (18). С. 28–37. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-28-37.
7. ICRP. Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. ICRP Publication 94. Ann. ICRP. 2004. 34 (2).
8. ICRP. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP. 2008. 38 (3). <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2008.10.004>
9. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. Ann. ICRP. 1988. 18 (1-4).
10. ICRP. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134 Ann. ICRP. 2016. 45(3/4), 1–352.
11. Yoshida K., Kaneta T., Takano S., et al. Pharmacokinetics of single dose radium-223 dichloride (BAY 88-8223) in Japanese patients with castration-resistant prostate cancer and bone metastases // Annals of nuclear medicine. 2016. Vol. 30, № 7. P. 453-460. <https://doi.org/10.1007/s12149-016-1093-8>
12. Höllriegl V., Petoussi-Hens N., Hürkamp K., et al. Radiopharmacokinetic modelling and radiation dose assessment of ²²³Ra used for treatment of metastatic castration-resistant prostate cancer // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging physics. 2021. Vol. 8, № 1. P. 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40658-021-00388-1>
13. Kurth J., Krause B.J., Schwarzenböck S.M., et al. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in ¹⁷⁷Lu-PSMA-targeted therapies // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging research. 2018. Vol. 8, № 1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13550-018-0386-4>
14. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. Ann. ICRP. 2015. 44(2S).
15. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80. Ann. ICRP. 1998. 28 (3).
16. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals – Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Ann. ICRP. 2008. 38 (1-2).
17. Ott R.J., Tait D., Flower M.A., et al. Treatment planning for ¹³¹I-mIBG radiotherapy of neural crest tumours using ¹²⁴I-mIBG positron emission tomography // The British journal of radiology. 1992. Vol. 65, № 777. C. 787-791. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-65-777-787>
18. Справочник лекарств по ГРЛС МинЗдрава РФ. Инструкция по медицинскому применению лекарственного препарата Стронция хлорид, ⁸⁹Sr. URL: <https://medi.ru> (дата обращения: 06.04.2022)
19. Poppel T.D., Handkiewicz-Junak D., Andreeff M., et al. EANM guideline for radionuclide therapy with radium-223 of metastatic castration-resistant prostate cancer // European journal of nuclear medicine and molecular imaging. 2018. Vol. 45, № 5. P. 824-845. <https://doi.org/10.1007/s00259-017-3900-4>
20. Zacherl M.J., Gildehaus F.J., Mittlmeier L., et al. First clinical results for PSMA-targeted α -therapy using ²²⁵Ac-PSMA-I&T in advanced-mCRPC patients // Journal of Nuclear Medicine. 2021. Vol. 62, № 5. P. 669-674. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.251017>
21. Романович И.К., Барковский А.Н. О новых критериях отнесения отходов к радиоактивным и об изменениях, внесенных в ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 // Радиационная гигиена. 2015. Т. 7, № 1. С. 30-35.

Поступила: 11.04.2022 г.

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций 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 Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Петрякова Анастасия Валерьевна – студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; инженер по радиационной безопасности СПб ГБУЗ «Городская больница № 40», Санкт-Петербург, Россия

Анокина Екатерина Евгеньевна – студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Величкина Кристина Сергеевна – студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Рыжов Сергей Анатольевич – вице-президент Ассоциации медицинских физиков России; начальник отдела радиационной безопасности и медицинской физики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева; научный сотрудник Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Для цитирования: Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А., Станжевский А.А., Петрякова А.В., Анокина Е.Е., Величкина К.С., Рыжов С.А. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 19-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30

Management of biological waste of patients after radionuclide therapy

Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Aleksandr V. Vodovатов^{1,4}, Irina A. Zvonova¹, Andrey A. Stanzhevsky², Anastasia V. Petryakova^{5,6}, Ekaterina E. Anokina⁵, Kristina S. Velichkina⁵, Sergey A. Ryzhov^{7,8,9}

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 A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

³ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

⁵ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

⁶ The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint-Petersburg, Russia ⁷ Association of Medical Physicists of Russia, Moscow, Russia

⁸ Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

⁹ Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

Radioactive waste management is a modern-day issue in terms of radiation safety due to the development of radionuclide therapy, the emergence of new radiopharmaceuticals, radionuclides, and treatment methods, which allow for radionuclide therapy in a day hospital. According to the current domestic regulatory and

Larisa A. Chipiga

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

methodological support biological wastes generated during the patient's metabolic activity after injection of the radiopharmaceuticals for the therapy refer to the liquid radioactive waste. These wastes must be collected and kept for decay in hospitals to the safe levels before being spilled into the municipal sewerage. It requires additional expenses to the hospital for making the special sewerage. To increase the availability of radionuclide therapy, it is necessary to update the requirements of the liquid radioactive waste management in nuclear medicine departments, considering the volume activities of different diagnostic and therapeutic radionuclides in wastes generated after the injection of radiopharmaceuticals to the patients. On the basis of findings, it is possible to evaluate the feasibility of the binding requirement for the availability of special sewerage in the departments of the radionuclide therapy. In this work, excretion of the radiopharmaceuticals used in therapy: ^{89}Sr -dichloride, ^{223}Ra -dichloride, ^{131}I -MIBG, ^{177}Lu -PSMA, and ^{225}Ac -PSMA was studied based on published data to determine the activity levels of radionuclides in waste of patients. As a results of preliminary computations, some nuclear medicine procedure will not lead to generation of liquid radioactive waste from biological waste of patients in sewerage system in usual operating condition and special sewerage is not strictly necessary. For example, estimations of radionuclide activity in wastes showed the volume of current sewerage system in a small hospital with a limitation of 50 beds can be enough to reduce the level of specific activity of radionuclides in wastewater from one patient a day after radionuclide therapy with ^{89}Sr -chloride and ^{223}Ra -dichloride. In order to revision of requirements to special sewerage in each department of radionuclide therapy and to development of differentiated approach to the management of biological waste of patient in nuclear medicine departments, which ensure environment protection and radiation safety of people, it is necessary to continue the research including development and modeling of realistic scenario of staff and patient radiation exposure confirmed experimental results.

Key words: nuclear medicine, radionuclide therapy, biological excretion of radiopharmaceuticals, liquid radioactive waste.

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Acknowledgements

The authors would like to thank Mikhail I. Balonov for assistance with the data interpretation.

Information about the source of funding

The work was performed as a part of the program of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being "Development and scientific justification of a set of measures to ensure radiation protection in nuclear medicine".

Information about authors' personal contribution to the work on the article

L.A. Chipiga – scientific management of the study, determination of the aim of the study, development of the study design, formulation of the scientific conjectures, processing and analysis of results, writing the text of the article.

A.V. Vodovatov – development of the study design, analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

I.A. Zvonova – analysis and interpretation of the results.

A.A. Stanzhevsky – search and analysis of literature, description of current state of nuclear medicine in Russia and issue for the study.

A. V. Petryakova – search and analysis of literature, calculations, description of materials and methods, translation.

E.E. Anokina – search and analysis of literature, calculations, editing the article.

K.S. Velichkina – search and analysis of literature, calculations.

S.A. Ryzhov – analysis of the results, editing the draft of the article.

References

1. Khmelev AV. Nuclear medicine: physics, equipment, technologies: textbook for educational institution implementing additional professional programs of doctors professional development and professional retraining in relevant specialties. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Research Institute-Republican Research Scientific and Consulting Center of Expertise. Moscow: NRNU MEPhI; 2018. 439 p. (In Russian)
2. Rummyantsev PO, Korenev SV. The history of radioiodine therapy beginning. *Klinicheskaya i eksperimentalnaya tireoidologiya = Clinical and experimental thyroidology*. 2015;11(4): 51–55. (In Russian) <https://doi.org/10.14341/ket2015451-55>
3. Vorontsova MS, Karmakova TA, Pankratov AA, Kaprin AD. Current Trends in Targeted Radionuclide Therapy Development. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*. 2021;66(6): 63–70. (In Russian) <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2021-66-6-63-70>
4. Balonov MI, Golikov VYu, Zvonova IA. Radiological criteria for patient release from clinic after radionuclide therapy of brachytherapy with sealed source implantation. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*. 2016;2(4): 5-9. (In Russian)
5. IAEA, Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation, IAEA Safety Standards Series No. SSG-46, IAEA, Vienna; 2018.
6. Narkevich BYa. Current radioactive waste management challenges in nuclear medicine. *Radioaktivnye otkhody = Radioactive Waste*. 2022;1(18): 28–37. (In Russian) DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-28-37.
7. ICRP. Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. ICRP Publication 94. *Ann. ICRP*. 2004; 34 (2).
8. ICRP. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. *Ann. ICRP*. 2008; 38 (3). <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2008.10.004>
9. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. *Ann. ICRP*. 1988; 18 (1-4).
10. ICRP. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134 *Ann. ICRP*. 2016;45(3/4): 1–352.

11. Yoshida K, Kaneta T, Takano S, Sugiura M, Kawano T, Hino A, et al. Pharmacokinetics of single dose radium-223 dichloride (BAY 88-8223) in Japanese patients with castration-resistant prostate cancer and bone metastases. *Annals of Nuclear Medicine*. 2016;30(7): 453-460. <https://doi.org/10.1007/s12149-016-1093-8>
12. Höllriegel V, Petoussi-Hens N, Hürkamp K, Ramos JCO, Li WB. Radiopharmacokinetic modelling and radiation dose assessment of ²²³Ra used for treatment of metastatic castration-resistant prostate cancer. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging physics*. 2021;8(1): 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40658-021-00388-1>
13. Kurth J, Krause BJ, Schwarzenböck SM, Stegger L, Schäfers M, Rahbar K. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in ¹⁷⁷Lu-PSMA-targeted therapies. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging research*. 2018;8(1): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13550-018-0386-4>
14. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. *Ann. ICRP*. 2015;44(2S).
15. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80. *Ann. ICRP*. 1998;28 (3).
16. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals – Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. *Ann. ICRP*. 2008;38 (1-2).
17. Ott RJ, Tait D, Flower MA, Babich JW, Lambrecht RM. Treatment planning for ¹³¹I-mIBG radiotherapy of neural crest tumours using ¹²⁴I-mIBG positron emission tomography. *The British Journal of Radiology*. 1992;65(777): 787-791. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-65-777-787>
18. Ministry of Health of Russian Federation drug formulary by State Register of Medicines. Patient information leaflet of Strontium chloride, ⁸⁹Sr. Available from: <https://medi.ru> (In Russian) (Accessed: 06.04.2022)
19. Poeppel TD, Handkiewicz-Junak D, Andreeff M, Becherer A, Bockisch A, Fricke E, et al. EANM guideline for radionuclide therapy with radium-223 of metastatic castration-resistant prostate cancer. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular imaging*. 2018;45(5): 824-845. <https://doi.org/10.1007/s00259-017-3900-4>
20. Zacherl MJ, Gildehaus FJ, Mittlmeier L, Böning G, Gosewisch A, Wenter V, et al. First clinical results for PSMA-targeted α -therapy using ²²⁵Ac-PSMA-I&T in advanced-mCRPC patients. *Journal of Nuclear Medicine*. 2021;62(5): 669-674. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.251017>
21. Romanovich IK, Barkovsky AN. On a new criteria of the referring waste to radioactive categories and on the amendments introduced in BSRRSP-99/2010 and SRRWT-2002. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*. 2015;7(1): 30-35. (In Russian)

Received: April 11, 2022

For correspondence: Larisa A. Chipiga – Ph.D., research fellow, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; research fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com)

Aleksandr V. Vodovatov – Ph.D., Head of Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of 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, Saint-Petersburg, Russia

Andrey A. Stanzhevsky – M.D., Deputy Director for Research, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Anastasia V. Petryakova – student of Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University; radiation safety engineer of Saint-Petersburg City Hospital No. 40, Saint-Petersburg, Russia

Ekaterina E. Anokina – student of Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

Kristina S. Velichkina – student of Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

Sergey A. Ryzhov – vice president, Association of Medical Physicists in Russia; research fellow, Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies; head of the radiation safety and medical physics department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

For citation: Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Zvonova I.A., Stanzhevsky A.A., Petryakova A.V., Anokina E.E., Velichkina K.S., Ryzhov S.A. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 19-30. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30

Influence of the irradiation geometry on the severity of acute radiation damage

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 Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

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

The aim of this study was to demonstrate how the severity of radiation damage in the case of bone marrow syndrome due to acute irradiation depends on the non-uniform irradiation of the body. We used the calculation method that involves the evaluation of organism mortality as a function of bone marrow cells colony survival vs dose for different radiation profiles. It was presumed that the probability of the death for the organism is the same for the same value of survival level of the bone marrow cells regardless of the dose distribution by mass of the organ. The dose of uniform irradiation that is equivalent to the dose for the L-th case of non-uniform irradiation is calculate based on the survival level of the total marrow cells. After that the probability of the death of the organism is estimated according to the dose response curve. Dose distribution in bone marrow of computational MIRD-5-type stylized model adult man for different geometries of exposure by point source of ¹³⁷Cs was evaluated. Larger non-uniformity of the dose distribution in the bone marrow at the same dose in free air in the site of human location causes a greater probability of survival due to a greater proportion of bone marrow cells that have preserved the possibility of reproduction. The values of mean 50% lethal dose for cases of approximately uniform irradiation of the body surface (point source at a distance 10m) and sharply non-uniform irradiation (point source at a distance of 0.5 m) differ approximately by the factor of 1.7 – 2.5 depending on direction of irradiation. Additionally the values of conversion coefficients from the reading of an individual dosimeter to the value of an effective dose for various geometries of irradiation of emergency workers from the ¹³⁷Cs point source were calculated. The average value of the conversion coefficient from personal dose to effective dose for the considered exposure situations is 0.7 Sv Gy⁻¹ and the 90% confidence interval is 0.49 – 0.99 Sv Gy⁻¹.

Key words: acute irradiation, radiation damage, bone marrow syndrome, lethal dose.

Влияние геометрии облучения на тяжесть острого радиационного поражения

В.Ю. Голиков, 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

Статья посвящена демонстрации того, как тяжесть радиационного поражения при остром облучении в случае костномозгового синдрома зависит от неоднородности облучения организма. В статье использовали метод расчета, при котором смертность организма оценивалась на основе функции выживания клеток костного мозга в зависимости от распределения в нем поглощенной дозы. Предполагалось, что вероятность смерти для организма одинакова для одного и того же значения уровня выживания клеток костного мозга независимо от распределения дозы по массе органа. Доза однородного облучения, эквивалентная дозе L-го случая неравномерного облучения, рассчитывалась на основе доли выживших клеток красного костного мозга. После этого вероятность смерти организма в случае костномозгового синдрома оценивалась с использованием зависимости смерт-

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

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

ности от поглощенной дозы в клетках красного костного мозга при их равномерном облучении. Рассчитывалось распределение поглощенной дозы в красном костном мозге для математической модели MIRD-5 тела взрослого человека для разных геометрий облучения от точечного источника ^{137}Cs . Большая неравномерность распределения дозы в костном мозге при одинаковой дозе в свободном воздухе в месте расположения фантома обуславливала большую вероятность выживания из-за большей доли клеток костного мозга, которые сохранили способность к воспроизведению. Значения средней 50% летальной дозы для случаев приблизительно равномерного облучения поверхности фантома MIRD-5 (точечный источник на расстоянии 10 м) и резко неоднородного облучения (точечный источник на расстоянии 0,5 м) различались в 1,7–2,5 раза в зависимости от направления падения излучения. Кроме того, были рассчитаны значения коэффициентов перехода от показаний индивидуального дозиметра к эффективной дозе для различных геометрий облучения аварийных работников гамма-излучением точечного источника ^{137}Cs . Среднее значение коэффициента перехода от дозы, зарегистрированной индивидуальным дозиметром, к эффективной дозе для рассматриваемых ситуаций облучения составило $0,70 \text{ Sv Gy}^{-1}$ при 90% доверительном интервале $0,49–0,99 \text{ Sv Gy}^{-1}$.

Ключевые слова: острое облучение, радиационное поражение, костномозговой синдром, летальная доза.

Introduction

Arising acute tissue reactions (also referred to as ‘deterministic effects’) at whole body high-dose irradiation to penetrating radiation for radiation protection purposes are defined as possessing tissue-dependent dose thresholds with a minimum of the order of $\sim 1 \text{ Gy}$ [1, 2].

We use the following definition of acute radiation syndrome (ARS): “The acute radiation syndrome is a broad term used to describe a range of signs and symptoms that reflect severe damage to specific organ systems and that can lead to death within hours or up to several months after exposure” [3]. Three specific clusters of symptoms, associated with damage to three separate biologic compartments, point to the onset of ARS. These are known as the hematopoietic or bone marrow syndrome, the gastrointestinal syndrome, and the central nervous system or cardiovascular syndrome. In this respective order, they all occur with increasing whole-body dose. The hematopoietic and gastrointestinal syndromes may be accompanied by cutaneous radiation injury. Damage to the skin can also occur in the absence of ARS, in the case of high exposure by non-penetrating beta particles and low-energy photons, or in the case of extremely non-uniform (contact) exposure [4, 5].

Rapid emergency radiation dose assessment is necessary to identify individuals for early medical intervention. Currently medical intervention depends on the patient’s medical signs and symptoms resulting from the radiation dose received. Immediate treatment is needed for otherwise healthy persons who have had whole or near-total body radiation exposure exceeding 2 Gy. 3–5 Gy exposure without treatment would result in at least 50% mortality within 3 to 6 weeks [3, 6].

Current state-of-the-art practice for determining acute radiation doses relies on three methods using the following medical indicators [2, 6]:

1. Time-to-onset and severity of nausea and vomiting.
2. Lymphocyte depletion kinetics.
3. Chromosome aberration cytogenetics.

But, these methods not satisfactory for managing the medical casualties from radiological events and is need to develop new capabilities to assess radiation dose quickly with at least moderate precision [2].

IAEA has provided the following Generic Reference Levels for medical actions during radiation emergency at external exposure [7]:

Введение

При облучении всего тела проникающим излучением в больших дозах возникающие острые тканевые реакции (также называемые детерминированными эффектами) для целей радиационной защиты определяются как имеющие порог дозы, зависящий от типа ткани (органа), с минимальным значением $\sim 1 \text{ Гр}$ [1, 2].

Используем следующее определение острого радиационного (лучевого) синдрома (ОРС): «Острый радиационный синдром используется для описания широкого набора признаков и симптомов, которые отражают серьезные повреждения определенных систем органов и могут привести к смерти в течение времени от нескольких часов до нескольких месяцев после воздействия излучения [3]».

Различают три специфических типа ОРС, связанные с повреждением трех отдельных систем организма. Они известны как костномозговой синдром (кровотворная форма ОРС), кишечный синдром и поражение центральной нервной системы. В таком порядке они возникают с увеличением дозы облучения тела человека. Кровотворная и кишечная формы ОРС могут сопровождаться радиационным поражением кожи. Радиационное поражение кожи также может возникать при отсутствии ОРС в случае воздействия больших доз слабопроникающего бета-излучения или низкоэнергетических фотонов или в случае чрезвычайно неоднородного распределения поглощенной дозы по телу человека (контактное облучение) [4, 5].

Быстрая оценка дозы в случае возникновения аварийной ситуации необходима, в частности, для идентификации лиц, подлежащих раннему медицинскому вмешательству. В настоящее время медицинское вмешательство происходит в зависимости от наличия медицинских симптомов, известных и характерных для той или иной дозы облучения человека. Немедленное медицинское вмешательство необходимо для людей, которые могли иметь общее облучение организма в дозе, превышающей 2 Гр. Общее облучение в дозе 3–5 Гр без лечения приведет к не менее 50% смертности в течение 3–6 недель [3, 6].

Современная медицинская практика для оценки доз при остром радиационном поражении опирается на использование следующих медицинских показателей [2, 6]:

1. $AD_{\text{torso}} > 1 \text{ Gy-Eq}$ (is used to address external exposure to the red marrow, lung, small intestine, gonads, lens of eye, and thyroid from irradiation in uniform field of strongly penetrating radiation).

2. $AD_{\text{tissue}} > 25 \text{ Gy-Eq}$ (dose delivered to depth of 0.5 cm in tissue from contact (e.g. source carried in hand or pocket)).

3. $AD_{\text{skin}} > 10 \text{ Gy-Eq}$ to 600 cm^2 .

The existing guidelines for determining radiation doses usually state how to estimate the dose for a uniform irradiation of the body. Emergency irradiation of the body is frequently non-uniform. To select the proper method of treatment of injured it is necessary to evaluate dose distribution across the body or individual organs and tissues (for example, in red bone marrow).

According to UNSCEAR data [1] majority of radiation accidents with early acute clinical effects are linked to accidents involving sealed sources used in industrial facilities and in medical applications. 146 radiation accidents related to these practices with 1050 early acute clinical effects were reported in 1945-2007 period; 97 people deceased due to the high-dose irradiation. As a rule, these sources contained such radionuclides as ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co . The first rule in effective management is to be prepared. Preparation requires becoming knowledgeable about various emergency scenarios and thinking through appropriate responses to them before they occur.

The main aim of this study was to demonstrate how the severity of radiation damage due to acute irradiation in the case of bone marrow syndrome depends on the non-uniformity irradiation of the body with sealed sources of gamma radiation.

When performing the work to liquidate the consequences of accidents with sealed sources of gamma radiation doses of emergency workers should be estimated in terms of an effective dose on the basis of the readings of individual dosimeters. We did not find the data in the literature about the ratio of the readings of the individual dosimeters and the effective dose for such cases of human irradiation.

Therefore, the accompanying aim of this study was to calculate the values of conversion coefficients from the readings of the individual dosimeters of emergency workers to the value of effective dose.

Materials and methods

In case of damage of the hematopoietic system it is assumed that the death of the organism with a given probability occurs if the total activity of the system of cellular formation of the critical organ after irradiation is less than a certain threshold.

T.D. Jones stated [8] that the procedure for evaluating the organism mortality in the case of hematopoietic form of ARS includes the search for the expression of organism mortality as a function of survival of the red bone marrow (RBM) cells at uniform irradiation and estimation of survival level RBM cells vs dose for different radiation profiles in the cases of non-uniform distribution of radiation. Fig. 1 shows dose dependencies of the survival fraction of a population of RBM cells at uniform irradiation by photons with energy 660 keV obtained based on T.D. Jones data [8].

In order to integrate the data of Fig. 1 over the widely distributed hematopoietic proliferative system in human the dose distribution of RBM mass (marrow dose profiles) for different

1. Время начала после облучения и тяжесть проявления тошноты и рвоты.

2. Кинетика истощения лимфоцитов в крови.

3. Цитогенетические исследования хромосомных aberrаций.

Однако в [2] указывается, что в дополнение к этим медико-биологическим возможностям необходимо разработать новые методы для быстрой физической (расчетной) оценки дозы облучения пострадавших, хотя бы с умеренной погрешностью.

МАГАТЭ определяет следующие общие дозовые уровни для медицинского вмешательства при остром воздействии внешнего излучения [7]:

1. AD_{torso} (доза облучения всего тела) $> 1 \text{ Гр}$ (используется при характеристике облучения отдельных органов – красного костного мозга (ККМ), легких, тонкого кишечника, гонад, хрусталиков глаз, щитовидной железы в однородном поле сильно проникающего излучения).

2. AD_{tissue} (доза локального облучения мягких тканей на глубине 0,5 см и площади более 100 см^2) $> 25 \text{ Гр}$ (например, от источника переносимого в руке или кармане).

3. AD_{skin} (доза контактного облучения кожи площадью до 600 см^2) $> 10 \text{ Гр}$.

Существующие руководящие документы для определения доз излучения обычно посвящены оценке дозы равномерного облучения организма. Аварийное облучение тела человека часто не является равномерным. Поэтому в этом случае, чтобы выбрать правильный способ лечения, необходимо оценить распределение дозы по телу пострадавших или по отдельным органам и тканям (например, в ККМ).

Согласно данным НКДАР ООН [1], большинство радиационных аварий с ОРС связаны с несчастными случаями с закрытыми источниками гамма-излучения, используемыми на промышленных объектах, а также в медицине. В 146 радиационных авариях, связанных с этой деятельностью, в 1945–2007 гг. были отмечены 1050 ранних острых клинических эффектов; 97 человек погибли из-за облучения в больших дозах. Как правило, эти источники содержали такие радионуклиды, как ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co . Первое правило в эффективном управлении кризисными ситуациями – это предварительная подготовка данных о возможных сценариях их развития и заблаговременный поиск соответствующих решений и способов реагирования.

Основная цель этого исследования состояла в том, чтобы продемонстрировать, как тяжесть радиационного поражения на примере острого облучения человека гамма-излучением от закрытых источников в случае костно-мозгового синдрома (кровотворной формы лучевой болезни) зависит от неравномерности облучения его тела.

При выполнении работы по ликвидации последствий аварийных ситуаций с закрытыми источниками гамма-излучения дозы аварийных работников следует оценивать в терминах эффективной дозы на основе показаний индивидуальных дозиметров. Мы не обнаружили в литературе данных о соотношении между показаниями индивидуальных дозиметров и значениями эффективной дозы для таких ситуаций облучения человека.

Поэтому возникла дополнительная цель исследования, состоящая в том, чтобы рассчитать значения коэффициентов перехода от показаний индивидуальных дози-

irradiation scenarios must be calculated. That was performed using a dedicated calculation software [9, 10], that allows calculating the values of mean absorbed organ doses in 20 organs and tissues in computational MIR5 type stylized adult and pediatric models [11, 12], effective dose and ratios of effective dose to individual dosimeters readings for 48 points on the surface of the phantom.

The bone marrow dose profiles were calculated for the cases of point ^{137}Cs source located in front, behind and side of the phantom on different distances from vertical axis of phantom on the height of 1 m above the floor and for the case when it was in contact with phantom (trouser pocket).

The fraction of RBM which preserved reproduction after irradiation is determined by the Equation 1:

$$S^{(L)} = \sum_i m_i^{(L)}(D) \cdot s(D_i^{(L)}) = \bar{s}^{(L)} \quad (1)$$

where $S^{(L)}$ is survival level of the total marrow cells; $m_i^{(L)}(D)$ is the dose distribution of RBM mass at L -th case of non-uniform exposure; $s(D_i^{(L)})$ is dose dependence of viability of RBM cells (Fig. 1); $\bar{s}^{(L)}$ is a mean value of function S at L -th case of non-uniform exposure.

It is further postulated that the probability of death for the organism is the same for the same values of $S^{(L)}$ regardless of the dose distribution by mass of RBM. Dose D of uniform irradiation equivalent to the L -th case of non-uniform irradiation is calculated based on the value of $S^{(L)}$ (Equation 1) and dose dependence of viability of RBM cells (Fig. 1). The final step is to calculate the probability of death of the organism according to the dose response function for hematologic mortality [8] (see Fig. 2):

$$\text{Mortality}(\%) = \text{EXP}(3.84 + 5.35 \cdot \text{LN}(D / LD_{50})), LD_{50} = 2.5 \text{ Gy} \quad (2)$$

метров аварийных работников к значениям эффективной дозы.

Материалы и методы

В случае поражения кроветворной системы предполагается, что смерть организма с некоторой вероятностью наступает, если общая активность системы клеточного обновления критического органа, в данном случае красного костного мозга (ККМ), после облучения меньше, чем определенный порог.

T.D. Jones предположил [8], что процедура оценки смертности организма от кроветворной формы острой лучевой болезни включает в себя поиск выражения смертности организма как функции выживаемости клеток ККМ и оценки соответствующей дозы равномерного облучения клеток по их уровню выживания для различных профилей неравномерного распределения излучения. На рисунке 1 показана дозовая зависимость выживания клеток ККМ при равномерном облучении фотонами с энергией 660 кэВ, полученная на основе данных T.D. Jones [8].

Чтобы использовать данные рисунка 1 при равномерном облучении для случаев резко неравномерного облучения, были рассчитаны распределения поглощенной дозы по массе клеток ККМ (профили дозы) для различных сценариев облучения. Для этого использовали специализированное программное обеспечение [9, 10], позволяющее рассчитывать значения средних поглощенных доз в 20 органах и тканях в расчетной модели тела человека MIR5-5 различного возраста [11, 12], эффективную дозу, распределение дозы по массе ККМ и соотношения между эффективной дозой и показаниями 48 индивидуальных дозиметров, расположенных на поверхности фантома.

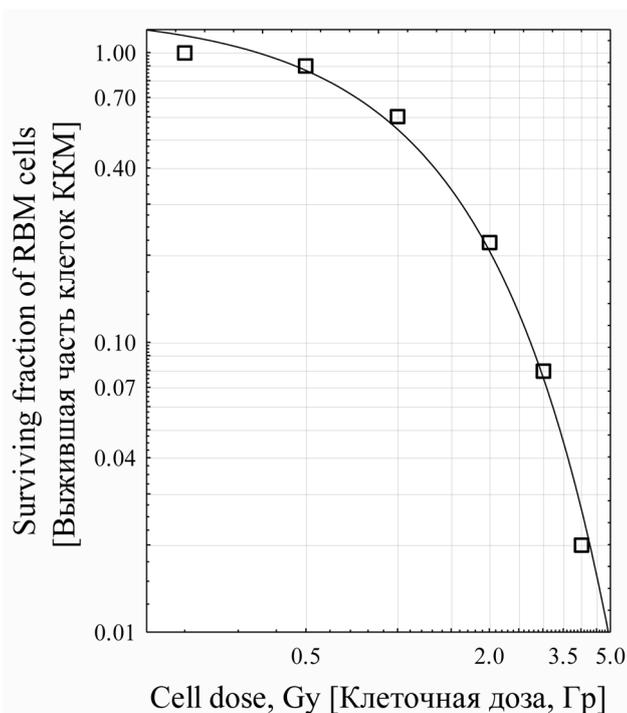


Fig. 1. Dose dependencies of viability of red bone marrow cells at uniform irradiation by 660 keV photons [8]

[Рис. 1. Дозовая зависимость выживаемости клеток красного костного мозга при однородном облучении фотонами с энергией 660 кэВ]

The same computational software [9] was used for the calculation of conversion coefficient values from the readings of the individual dosimeter located in the “typical” position on the body surface (see Fig.3) to the value of effective dose. Geometry of irradiation of emergency workers corresponded to different positions of point ^{137}Cs source in a front half-space relative to the worker.

Results and discussion

The results of marrow dose profiles calculation in the cases of point ^{137}Cs source located in front, behind and side of the phantom on different distances of 0.5m, 1m and 10m from vertical axis of phantom and in the case when it is in the contact with phantom (trouser pocket) are shown in Fig. 4. Then data in Fig.4 were used according to the Equation 1 for evaluation of the survival level of the total marrow for each irradiation situation. After that using Equation 2 the probabilities of mortality in the case of bone marrow syndrome were estimated. Obtained results of our calculations are shown in Table 1.

Профили дозы были рассчитаны для случаев точечного источника ^{137}Cs , располагавшегося спереди, сзади и сбоку от фантома на разных расстояниях от его вертикальной оси на высоте 1 м над полом, и для случая, когда источник находился в контакте с фантомом (в брючном кармане).

Фракция клеток ККМ, сохранившая способность к воспроизведению после облучения, определялась с помощью уравнения 1:

$$S^{(L)} = \sum_i m_i^{(L)}(D) \cdot s(D_i^{(L)}) = \bar{s}^{(L)} \quad (1)$$

где: $S^{(L)}$ – фракция клеток ККМ, которая сохранила способность к воспроизведению после облучения; $m_i^{(L)}(D)$ – распределение поглощенной дозы по массе ККМ для L -го случая неравномерного воздействия; $s(D_i^{(L)})$ – дозовая зависимость способности клеток ККМ к воспроизведению при равномерном облучении (см. рис. 1); $\bar{s}^{(L)}$ – среднее значение функции S для L -го случая неравномерного облучения.

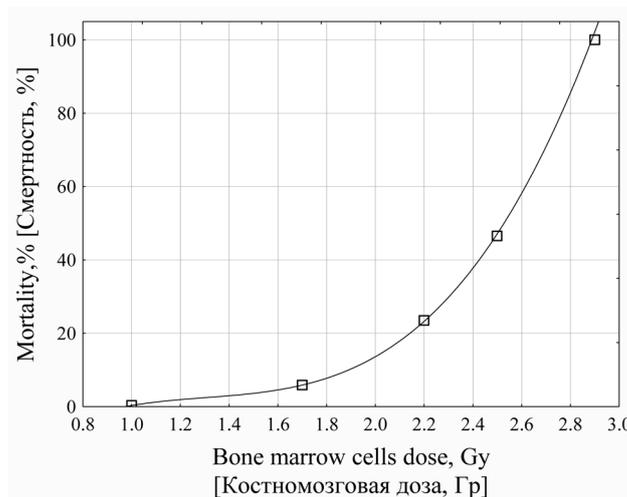


Fig. 2. Response function for prediction of mortality due to the hematologic syndrome [8]
[Рис. 2. Функция прогноза смертности при гематологическом синдроме]

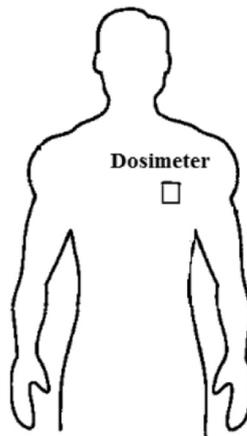


Fig. 3. The “typical” individual dosimeter position, i.e., 14 cm below the thyroid and 9 cm shifted to the side
[Рис. 3. Типичное расположение индивидуального дозиметра – 14 см ниже щитовидной железы со смещением вбок на 9 см]

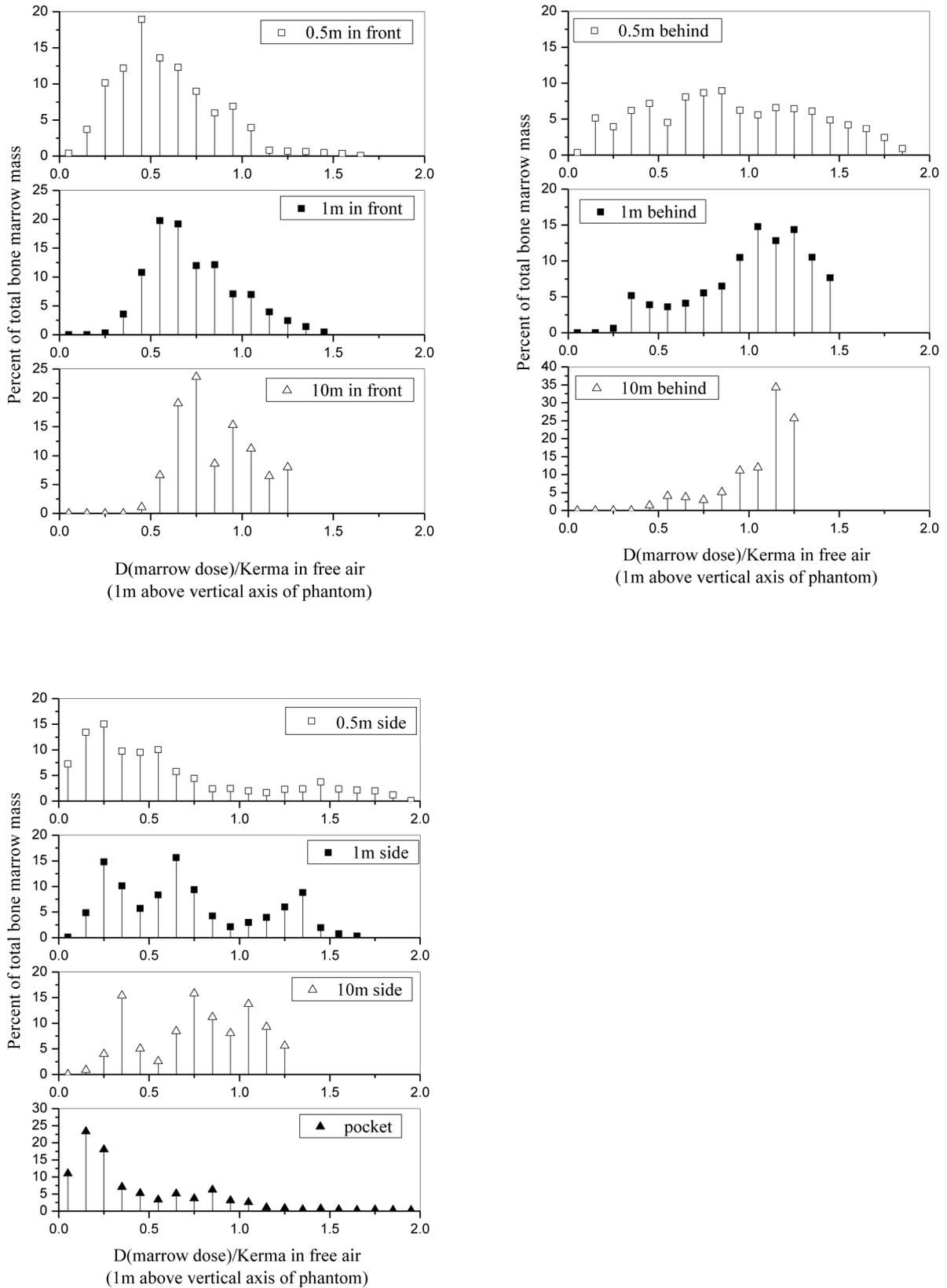


Fig. 4. The dose distribution of bone marrow cells for point ^{137}Cs source located on different distances in front, behind and side of phantom on the height 1m above floor

[Рис. 4. Распределение дозы в клетках красного костного мозга для точечного источника ^{137}Cs , расположенного на разных расстояниях спереди, сзади и сбоку от фантома на высоте 1 м над полом]

Table 1

Estimated hematopoietic mortality for different geometry of acute irradiation of man by ¹³⁷Cs source

[Таблица 1

Оцененная гематологическая смертность при остром облучении человека источником ¹³⁷Cs в различных геометриях]

Mortality,% [Смертность, %]	Kerma in free air (Gy) at a height of 1 m on the vertical axis of phantom [Керма в воздухе (Гр) на высоте 1 м на вертикальной оси фантома]									
	Source in front [Источник спереди]			Source behind [Источник сзади]			Source side [Источник сбоку]			
	10m	1m	0.5m	10m	1m	0.5m	10m	1m	0.5m	pocket
10	2.1	2.6	3.4	1.7	1.8	2.3	2.6	3.3	4.6	7.2
30	2.9	3.5	5.0	2.3	2.6	3.8	3.8	5.1	9.0	12.7
50	3.2	3.9	5.8	2.5	3.0	4.5	4.4	6.0	11.1	15.3
70	3.4	4.2	6.2	2.7	3.2	5.0	4.7	6.5	12.5	17.0
90	3.6	4.5	6.6	2.9	3.4	5.3	5.0	6.9	13.5	18.2

The results of calculations of marrow dose profiles (see Fig. 4) indicate that the closer the source is located to the human body the more non-uniformly separate parts of the red bone marrow are irradiated (wider dose distribution). That can be explained mainly due to the enhancement of the effect of inverse squares law. The most uniform distribution of the dose by mass of the RBM is observed for the source located at a distance of 10 m from the human body when the level of irradiation is determined mainly only by different absorption of radiation due to the different depth of the location in the body of separate parts of the RBM. The higher non-uniformity of the irradiation of the RBM at the same dose in the site of human location causes a greater probability of survival due to a greater proportion of RBM cells that have preserved the possibility of reproduction. The values of mean 50% lethal dose (LD₅₀) for cases of approximately uniform irradiation of the body surface (point source at a distance 10m) and sharply non uniform irradiation (point source at a distance of 0.5 m) differ approximately by a factor of 1.7 – 2.5 depending on the direction of irradiation. Due to the features of the distribution of the RBM in the human body irradiation from the source located behind of the human body is the most dangerous; from the source located on the side of the human body – is the least dangerous. For the case of ¹³⁷Cs source located in the trouser pocket the most significant effect is the severe local damage of the skin and tissues near the radiation source. For example, doses in the skin and in the tissues at a depth of 5 mm (averaged over an area of 100 cm² near the source) will be approximately two orders of magnitude higher compared to the average dose in the RBM [13]. A practically zero probability of death from the bone marrow syndrome (kerma in air at an height of 1 m on the phantom axis ~ 1Gy, the average RBM dose ~ 0.6 Gy) is accompanied by the absorbed doses in the skin and in the tissues at a depth of 5 mm averaged by area 100cm² near the source more than 100 Gy, which will lead to their death. It should also be noted that for the range of distances from the phantom less than 0.5m a combined damage of several critical systems, for example red bone marrow and gastrointestinal system, is possible, since the onset dose for the appearance of the first symptoms for gastrointestinal syndrome is approximately 6 Gy [6].

Hence, the cases of irradiation considered here can be classified on the basis of spatial areas where the type of acute radiation syndrome will be determined:

Далее постулировалось, что вероятность смерти для организма одинакова для одинаковых значений $S^{(L)}$ независимо от распределения дозы по массе ККМ. Доза D равномерного облучения, эквивалентная дозе L -го случая неравномерного облучения, рассчитывалась на основе значения $S^{(L)}$ (уравнение 1) и дозовой зависимости жизнеспособности клеток ККМ (см. рис. 1). Последний шаг заключался в расчете вероятности смерти организма в соответствии с дозовой зависимостью смертности для кроветворной формы ОРС [8] (рис. 2):

$$\text{Смертность (\%)} = \text{Exp}(3.84 + 5.35 \cdot \ln(D / LD_{50})), LD_{50} = 2.5 \text{ Gy} \quad (2)$$

Это же программное обеспечение [9] использовалось для расчета значений коэффициентов перехода от показаний индивидуального дозиметра, расположенного в «типичном» положении на поверхности тела (рис. 3), к значению эффективной дозы. Геометрия облучения аварийных работников соответствовала различным положениям точечного источника ¹³⁷Cs в переднем полупространстве относительно работника.

Результаты и обсуждение

Результаты расчета профилей поглощенной дозы по массе ККМ в случае точечного источника ¹³⁷Cs, расположенного спереди, сзади и сбоку от фантома на разных расстояниях (0,5 м, 1 м и 10 м) от его вертикальной оси, и в случае, когда он находился в контакте с фантомом (карман брюк), показаны на рисунке 4.

Далее эти данные использовались в соответствии с уравнением 1 для оценки выжившей фракции клеток ККМ для каждой ситуации облучения. После этого с использованием уравнения 2 были оценены вероятности смертности организма в случае кроветворной формы ОРС. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Результаты расчетов профилей дозы в клетках ККМ (см. рис. 4) указывают на то, что чем ближе источник расположен к телу человека, тем более неравномерно облучаются отдельные части ККМ (более широкое распределение дозы). Это может быть объяснено, главным образом, эффектом закона обратных квадратов. Наиболее равномерное распределение поглощенной дозы по массе ККМ наблюдается для источника, расположенного на расстоянии 10 м от человека. В этом случае уровень облучения отдельных частей ККМ определяется,

- damage to the hematopoietic system (“clear” bone marrow syndrome) – at the distance from a body more than ~ 50 cm;
- combined damage of several critical systems (red bone marrow and gastrointestinal system) – at the distance from a body less than ~ 50 cm;
- severe local damage to the skin and tissues located near the radiation source – when wearing the source in the pockets of clothes or hands.

Calculated conversion coefficients from the readings of the individual dosimeter (for “typical” dosimeter position) to the value of effective dose for different geometry of irradiation of emergency workers by ¹³⁷Cs source are shown in Table 2.

Values of these coefficients that are below unity indicate an overestimation of effective dose by personal dose, values above unity an underestimation. It can be seen that for all irradiation geometries personal dose is a conservative estimate or a close approximation of effective dose. The average value of the conversion coefficient from personal dose to effective dose for the considered exposure situations is 0.70 Sv Gy⁻¹ and 90% confidence interval 0.49 – 0.99 Sv Gy⁻¹. When applying Table 2 data to sources with radionuclides of ¹⁹²Ir and ⁶⁰Co an additional error will not exceed ± 20%.

Conclusions

The paper presents the data which demonstrate the severity of hematopoietic mortality for different irradiation geometry of man by ¹³⁷Cs (point source on different distances – 10m, 1m and 0.5m from the body). The values of mean lethal dose LD₅₀ for cases of approximately uniform irradiation of the body surface (point source at a distance 10m) and sharply non uniform irradiation (point source at a distance of 0.5 m) differ approximately in 1.7 – 2.5 times in dependence of direction of irradiation. The most dangerous is the irradiation from the source located behind of the human body and the least dangerous from the source located on the side of the human body. Additionally the values of conversion coefficients from the reading of an individual dosimeter located in the “typical” position on the surface of the body to the value of an effective dose when the ¹³⁷Cs point source located at distances 0.5 – 1m from the body were calculated. The average value of the conversion coefficient from personal dose to effective dose for

в основном, только различием в поглощении излучения, обусловленным различной глубиной их расположения в теле человека. Более высокая неоднородность облучения ККМ (при одинаковой дозе в воздухе в месте расположения человека) обуславливает большую вероятность выживания организма из-за большей доли клеток ККМ, облученных в малых дозах и поэтому сохранивших способность к воспроизведению. Значения средней 50% летальной дозы (LD₅₀) для случаев приблизительно равномерного облучения поверхности тела (точный источник на расстоянии 10 м) и резко неравномерного облучения (точный источник на расстоянии 0,5 м) отличаются примерно в 1,7–2,5 раза в зависимости от направления падения излучения. Благодаря особенностям распределения клеток ККМ в организме человека, облучение от источника, расположенного сзади по отношению к телу человека, является наиболее опасным, а от источника, расположенного сбоку от тела человека, – наименее опасно.

Для случая источника ¹³⁷Cs, расположенного в кармане брюк, наиболее значительным эффектом является тяжелое локальное поражение кожи и тканей, расположенных вблизи источника. Например, дозы в коже и тканях на глубине 5 мм (усредненные по площади 100 см² вблизи источника) будут приблизительно на два порядка выше по сравнению со средней дозой в ККМ [13]. В этом случае при практически нулевой вероятности смерти от кроветворной формы ОРС (керма в воздухе на высоте 1 м на оси фантома ~ 1Гр, средняя доза в ККМ ~ 0,6 Гр) поглощенные дозы в коже и в тканях на глубине 5 мм, усредненные по площади 100см² вблизи источника, будут более 100 Гр, что приведет к их омертвлению. Следует также отметить, что для диапазона расстояний источника от фантома менее 0,5 м возможно комбинированное радиационное поражение клеток нескольких критических систем, например, таких как ККМ и кишечник, поскольку пороговая доза появления первых симптомов кишечной формы ОРС составляет примерно 6 Гр [6]. Таким образом, случаи облучения, рассматриваемые здесь, могут быть классифицированы на основе пространственных зон с вероятным преобладанием следующих типов ОРС:

- поражение кроветворной системы («чистый» костномозговой синдром) – при расстояниях источника от тела более ~ 50 см;

[Table 2

Conversion coefficients from the readings of the individual dosimeter (for “typical” dosimeter position) to effective dose for different geometry of irradiation of emergency workers by ¹³⁷Cs source

[Таблица 2

[Коэффициенты перехода от показаний индивидуального дозиметра (типичная позиция на теле) к эффективной дозе для различных геометрий облучения аварийного персонала источником ¹³⁷Cs]

The height of source over the floor, cm [Высота источника над полом, см]	Conversion coefficients, Sv Gy ⁻¹ [Коэффициенты перехода, Зв Гр ⁻¹]			
	Source in front on the distance from the body [Источник спереди, на расстоянии от тела]		Source side on the distance from the body [Источник сбоку, на расстоянии от тела]	
	50 cm	100 cm	50 cm	100 cm
0	0.94	0.93	0.73	0.73
80	1.03	0.81	0.83	0.73
120	0.68	0.76	0.61	0.66
150	0.54	0.68	0.50	0.60
200	0.55	0.65	0.48	0.57

the considered exposure situations is 0.7 Sv Cy^{-1} and the 90% confidence interval is $0.49 - 0.99 \text{ Sv Gy}^{-1}$. Such kind of data is often necessary to assessing the effective dose in personnel who performs the work to liquidation the consequences of the accidents with sealed sources of gamma radiation.

References

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annexes C, D and E. New York, UN; 2011.
2. U.S. Department of Homeland Security. Technology Assessment and Roadmap for the Emergency Radiation Dose Assessment Program. UCRL-TR-215887. June, 2005.
3. National Council on Radiation Protection and Measurements. Management of terrorist events involving radioactive material. NCRP Report No. 138. Bethesda, Md: National Council on Radiation Protection and Measurements; 2001.
4. Avetisov GM, Darenskaya NG, Nelyubov AA. Biological effects of non-uniform radiation impacts. Moscow: Atomizdat; 1974.
5. Gozenbuk VL, Keirim-Markus IB. Dosimetric criteria for the severity of acute human irradiation. Moscow: Ergoatomizdat; 1988.
6. Wolbarst AB, Wiley AL, Nemhauser JB, Christensen DM, Hendee WR. Medical response to a major radiologic emergency: a primer for medical and public health practitioners. *Radiology*. 2010;254: 660–677.
7. IAEA. Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency, Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; 2005.
8. Jones TD. Hematologic Syndrome in Man Modeled from Mammalian Lethality. *Health Physics*. 1981;41: 83-103.
9. Golikov V. Method and software for photon dose calculation in phantoms of human body. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 55-65. (In Russian).
10. Golikov V, Barkovsky A, Wallström E, Cederblad Å. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations. *Radiation Protection Dosimetry*. 2018;178(2): 223-234.
11. Snyder WS, Ford MR, Warner GG, Watson GG. Revision of MIRD Pamphlet No 5 Entitled 'Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom' ORNL-4979. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory; 1974.
12. Han EY, Bolch WE, Eckerman KF. Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRD schema. *Health Physics*. 2006;90(4): 337–356.
13. Golikov V. Assessment of the absorbed doses in the organs in case of radiation emergency with the sealed gamma-sources. *Radiation Protection Dosimetry*. 2019;185(1): 67-73.

Received: April 27, 2022

– комбинированное повреждение нескольких критических систем (ККМ и кишечника) – при расстояниях источника от тела менее чем $\sim 50 \text{ см}$;

– тяжелое локальное поражение кожи и тканей, расположенных вблизи источника излучения, – при контакте источника с телом человека (его ношение в карманах одежды или руках).

Рассчитанные значения коэффициентов перехода от показаний индивидуального дозиметра (для «типичной» локации дозиметра на поверхности тела) к эффективной дозе для различных геометрий облучения аварийных работников гамма-излучением точечного источника ^{137}Cs представлены в таблице 2.

Значения этих коэффициентов ниже 1 указывают на переоценку эффективной дозы на основе измерений индивидуального дозиметра, а значения больше 1 – на ее недооценку. Можно видеть, что для всех геометрий облучения доза, зарегистрированная индивидуальным дозиметром, является консервативной оценкой эффективной дозы или близка к ней.

Среднее значение коэффициента перехода от дозы, зарегистрированной индивидуальным дозиметром, к эффективной дозе для рассматриваемых ситуаций облучения составило $0,70 \text{ Sv Gy}^{-1}$ при 90% доверительном интервале $0,49-0,99 \text{ Sv Gy}^{-1}$. При использовании данных таблицы 2 для закрытых источников с радионуклидами ^{192}Ir и ^{60}Co дополнительная ошибка в оценке значений коэффициентов перехода не будет превышать $\pm 20\%$.

Заключение

В статье представлены данные, демонстрирующие зависимость тяжести радиационного поражения организма человека в случае кроветворной формы ОРС для различной геометрии облучения гамма-излучением точечного источника ^{137}Cs , расположенного на разных расстояниях (10 м, 1 м и 0,5 м) от тела человека. Значения средней летальной дозы LD_{50} для случаев приблизительно равномерного облучения поверхности тела (точечный источник на расстоянии 10 м) и резко неравномерного облучения (точечный источник на расстоянии 0,5 м) различаются приблизительно в 1,7–2,5 раза в зависимости от направления падения излучения. Наиболее опасным является облучение от источника, расположенного сзади по отношению к телу человека, а наименее опасным – от источника, расположенного сбоку от тела человека. Кроме того, были рассчитаны значения коэффициентов перехода от показаний индивидуального дозиметра, находящегося в «типичном» положении на поверхности тела работника, к эффективной дозе. Геометрия облучения соответствовала различным положениям точечного источника ^{137}Cs в переднем полупространстве на расстоянии $0,5-1 \text{ м}$ относительно работника. Среднее значение коэффициента перехода от дозы, зарегистрированной индивидуальным дозиметром, к эффективной дозе составило $0,70 \text{ Sv Gy}^{-1}$ при 90% доверительном интервале $0,49-0,99 \text{ Sv Gy}^{-1}$. Такие данные часто необходимы для оценки эффективной дозы у персонала, выполняющего работы по ликвидации последствий аварийных ситуаций облучения с закрытыми источниками гамма-излучения.

Литература

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annexes C, D and E. New York, UN, 2011.
2. U.S. Department of Homeland Security. Technology Assessment and Roadmap for the Emergency Radiation Dose Assessment Program. UCRL-TR-215887. June, 2005.
3. National Council on Radiation Protection and Measurements. Management of terrorist events involving radioactive material. NCRP Report No. 138. Bethesda, Md: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2001.
4. Аветисов Г.М., Даренская Н.Г., Нелюбов А.А. Биологические эффекты неравномерных лучевых воздействий. М.: Атомиздат, 1974.
5. Гозенбук В.Л., Кеирим-Маркус И.Б. Дозиметрические критерии тяжести острого облучения человека. М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Wolbarst A.B., Wiley A.L., Nemhauser J.B., et al. Medical response to a major radiologic emergency: a primer for medical and public health practitioners // Radiology. 2010. No. 254. P. 660–677.
7. IAEA. Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency, Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 2005.
8. Jones T.D. Hematologic syndrome in man modeled from mammalian lethality // Health Physics. 1981. No. 41. P. 83-103.
9. Голиков В.Ю. Метод и компьютерная программа расчета доз фотонного излучения в фантомах тела человека // Радиационная гигиена. 2019. Т.12, № 2. С. 55-65.
10. Golikov V., Barkovsky A., Wallström E., Cederblad Å. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations // Radiation Protection Dosimetry. 2018. Vol. 178, No. 2. P. 223-234.
11. Snyder W.S., Ford M.R., Warner G.G., et al. Revision of MIRD Pamphlet No 5 Entitled 'Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom'. ORNL-4979. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 1974.
12. Han E.Y., Bolch W.E., Eckerman K.F. Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRD schema // Health Physics. 2006. Vol. 90, No. 4. P. 337–356.
13. Golikov V. Assessment of the absorbed doses in the organs in case of radiation emergency with the sealed gamma-sources // Radiation Protection Dosimetry. 2019. Vol. 185, No. 1. P. 67-73.

Поступила: 27.04.2022 г.

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

Aleksandr V. Vodovatov – PhD, Researcher, Head 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 Wellbeing; Associate Professor of the Department of Hygiene of Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

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, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, ведущий 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; доцент кафедры гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

For citation: Golikov V.Yu., Vodovатов A.V. Influence of the irradiation geometry on the severity of acute radiation damage. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2, P. 31-41. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-31-41

Для цитирования: Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Влияние геометрии облучения на тяжесть острого радиационного поражения // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 31-41. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-31-41

Контроль показателей радиационной безопасности зданий и сооружений, подлежащих сносу

Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко, К.А. Сапрыкин, А.С. Васильев, Н.А. Королева,
Е.С. Кокоулина, Т.А. Балабина, И.Г. Матвеева

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

В статье рассматриваются вопросы нормативно-методического обеспечения радиационного контроля зданий и сооружений, подлежащих сносу. Отмечено, что с развитием интенсивного строительства жилых и общественных зданий в крупных городах в зону застройки попадают участки территорий промышленного назначения с большим количеством производственных объектов, предназначенных для сноса. Проведение радиационного контроля и сортировки образовавшихся после демонтажа зданий производственных отходов на практике не представляется возможным. Обоснована целесообразность проведения радиационного контроля зданий и сооружений, подлежащих сносу, на этапе, предшествующем демонтажу зданий, а также необходимость разработки и утверждения на федеральном уровне методики его выполнения; приведены рекомендации по оценке показателей радиационной безопасности зданий и сооружений, подлежащих сносу. Показано, что при значении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в помещениях зданий и сооружений, подлежащих сносу, не выше 0,6 мкЗв/ч обращение с производственными отходами, образовавшимися после сноса зданий и сооружений и содержащими только природные радионуклиды, может производиться без ограничений по радиационному фактору, поскольку значение эффективной удельной активности природных радионуклидов в отходах гарантированно не превысит 1500 Бк/кг и они будут отнесены к производственным отходам 1 категории в соответствии с ОСПОРБ 99/2010.

Ключевые слова: источники ионизирующего излучения, здания под снос, радиационный контроль, мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, природные радионуклиды, эффективная удельная активность, строительные материалы, производственные отходы.

Введение

Регулирование воздействия природных источников ионизирующего излучения (ИИИ) на население при нахождении в зданиях в санитарном законодательстве Российской Федерации осуществляется введением гигиенических нормативов, определяющих допустимые уровни показателей радиационной безопасности существующих (эксплуатируемых) зданий и сооружений, а так-

же объектов, вводимых в эксплуатацию после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции. Требования к показателям радиационной безопасности (внешнее облучение – мощность амбиентной дозы (МАД) гамма-излучения; внутреннее облучение – эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) изотопов радона в воздухе помещений) жилых и общественных зданий и сооружений установлены в НРБ-99/2009¹ и СанПиН 2.6.1.2800-10²; производственных зданий и со-

¹ 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.)]

² 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 (далее – СанПиН 2.6.1.2800-10). [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 (hereinafter – SanPiN 2.6.1.2800-10). (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

оружий – в ОСПОРБ 99/2010³ и СанПиН 2.6.1.2800-10. Также в ОСПОРБ 99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10 установлены требования к характеристикам участков, предназначенных под застройку; нормируемыми показателями являются МАД гамма-излучения на территории и плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта.

Методика проведения радиационного контроля вновь построенных (реконструированных) зданий жилого, общественного и производственного назначения приведена в МУ 2.6.1.2838-11⁴; радиационного обследования участков, отводимых под строительство, – в МУ 2.6.1.2398-08⁵. Вопросам методического обеспечения дозиметрического и радонометрического контроля новых и существующих зданий и застраиваемых земельных участков посвящено большое количество публикаций (см., например, [1–3]).

Если говорить о зданиях, предназначенных для сноса, то к ним, в первую очередь, относятся установленные в санитарных правилах (ОСПОРБ 99/2010, СанПиН 2.6.1.2800-10) гигиенические нормативы содержания природных радионуклидов в производственных отходах, поскольку после демонтажа зданий образуется большой объем бывших в употреблении строительных материалов, которые могут быть предназначены⁶ или не предназначены для дальнейшего использования. Категоризация и дальнейшее использование или утилизация таких отходов должны осуществляться с учетом установленных требований радиационной безопасности; при этом порядок проведения радиационного контроля зданий перед сносом в настоящее время в Российской Федерации не регламентируется ни одним методическим документом.

В некоторых странах требования или рекомендации по проведению радиационного обследования зданий перед сносом присутствуют в сводах строительных правил, однако носят они, как правило, общий характер, не конкретизируют процедуру проведения и контролируемые показатели радиационной безопасности. Примеры таких требований и рекомендаций приведены в таблице.

Цель исследования – обоснование необходимости проведения радиационного контроля зданий и сооружений, предназначенных для сноса, и утверждения методических указаний по его проведению и оценке показателей радиационной безопасности таких объектов.

Анализ потенциальной радиационной опасности зданий и сооружений, подлежащих сносу

Основными факторами, влияющими на потенциальную радиационную опасность зданий и сооружений, предназначенных для сноса, являются:

- возможность обнаружения на объектах неучтенных (утраченных) источников ионизирующего излучения, радиоизотопных приборов (например, дымоизвещателей) или предметов с повышенным содержанием природных радионуклидов (ПРН) (например, устройств и приборов с циферблатами или шкалами, на которые нанесены светосоставы постоянного действия на основе солей радия);

- возможность обнаружения в строительных конструкциях зданий фрагментов, образовавшихся в результате загрязнения радионуклидами вследствие проливов или просыпей радиоактивных материалов в ходе предыдущей эксплуатации здания (подобные «пятна» от пролива радиоактивных растворов, ввешенные в бетон, были выявлены, например, при проведении реконструкции одного из зданий Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова и здания Адмиралтейства в Санкт-Петербурге);

- возможность применения при строительстве зданий материалов (например, вторично используемых отходов производства), не соответствующих действующим в настоящее время требованиям к показателям радиационной безопасности строительных материалов, установленных в санитарных правилах (в 2013 г. был зафиксирован случай выявления повышенных уровней гамма-излучения в помещениях вследствие использования в качестве утеплителя (засыпки перекрытий) отходов металлургического производства (металлургического шлака) в эксплуатируемом здании Пермского авиаци-

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 (далее – ОСПОРБ 99/2010). [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 (hereinafter – OSPORB 99/2010). (In Russ.)]

⁴ Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности: Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2011 г. [Radiation control and sanitary and epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and facilities after their construction, overhaul, reconstruction according to radiation safety indicators. Guidelines MU 2.6.1.2838-11. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.01.2011. (In Russ.)]

⁵ Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности: Методические указания МУ 2.6.1.2398-08. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 02.07.2008 г. [Radiation control and sanitary-epidemiological evaluation of land sites for construction of residential, public and industrial buildings and facilities. Guidelines MU 2.6.1.2398-08. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 02.07.2008. (In Russ.)]

⁶ Пункт 9.4.3 ГОСТ Р 57678-2017. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация строительных отходов: национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 сентября 2017 г. № 1163-ст. [Paragraph 9.4.3 of GOST R 57678-2017. Resources saving. Waste treatment. Management of construction waste: National standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of September 19, 2017 No. 1163-st. (In Russ.)]

Требования и рекомендации по радиационному обследованию зданий перед сносом в некоторых зарубежных сводах строительных правил

[Table

Requirements and recommendations for radiation survey of buildings before demolition in some foreign codes of practice]

Государство [State]	Требование, рекомендация [Requirement, recommendation]
Австралия [4, 5] [Australia]	4.2. Перед началом работ по сносу зданий следует обследовать все рабочие зоны, включая подвальные и цокольные этажи, хранилища и свалки отходов, на предмет наличия токсичных, радиоактивных или других опасных химических веществ [4.2. Before starting demolition work, all areas of the workplace, including basements, cellars, vaults and waste dumps, should be examined to determine whether there are toxic, radioactive or other hazardous chemicals present]
Гонконг [6] [Hong Kong]	2.1.1 (B) Обследование здания должно включать: (3) поиск опасных материалов, токсичных химических веществ, легковоспламеняющихся или взрывоопасных и радиоактивных материалов и т.п. 2.3. Если в здании обнаружены опасные материалы, например, содержащие асбест, загрязнение нефтепродуктами или радиоактивное загрязнение, необходимо привлечение специалистов для дальнейшего детального обследования и дезактивации
Малайзия [7] [Malaysia]	[2.1.1 (B) The building survey shall cover the following: (3) The presence of hazardous materials, matters arising from toxic chemicals, flammable or explosive and radioactive materials, etc. 2.3. If hazardous materials, such as asbestos containing materials, petroleum contamination and radioactive contamination, exist in the building, further investigation and removal of such hazardous material or contamination by specialist shall be referenced]
Новая Зеландия [8] [New Zealand]	4.2.3. Необходимо выяснить, для чего использовалось здание в прошлом. Может существовать опасность от взрывчатых или легковоспламеняющихся веществ, токсичных веществ, свинца, асбеста и радиоактивных веществ [4.2.3. Find out what the building was used for in the past. There may be dangers from explosive or flammable substances, toxic substances, lead, asbestos and radioactive substances]
Самоа [9] [Samoa]	C7.C.9. Утилизация детекторов дыма должна проводиться в соответствии с процедурами для опасных веществ, поскольку содержащиеся материалы могут быть радиоактивными, когда устройство не используется по назначению [C7.C.9. Disposal of smoke alarms must be handled according to procedures for hazardous substances as material may be radioactive when not in use]

онного техникума им. А.Д. Швецова 1935 г. постройки; в 1980-е гг. в г. Балей Забайкальского края были выявлены жилые дома, построенные с применением отходов производства монацитового концентрата, после сноса домов образовавшиеся отходы были захоронены).

В действующих МУ 2.6.1.2398-08 приведена методика обследования участков, предназначенных под застройку жилыми, общественными или производственными зданиями, однако порядок проведения радиационного контроля, изложенный в методических указаниях, не предусматривает возможного наличия на участке каких-либо строений и сооружений. Именно поэтому в названии МУ фигурирует «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка *земельных участков...*», т.е. предполагается, что для строительства выделен участок территории бывшего сельскохозяйственного назначения с грунтовым покрытием и полным отсутствием предназначенных для сноса построек. Действительно значительная часть земель вокруг городов (в первую очередь, мегаполисов), ранее использовавшаяся в сельскохозяйственных целях, в настоящее время интенсивно застраивается жилыми и общественными зданиями (в Ленинградской области г. Мурино с населением около 80 000 человек «вырос» на землях, ранее принадлежавших сельхозпредприятию АОЗТ «Ручьи»; на землях бывшего совхоза «Кудрово» отстроен г. Кудрово с населением почти 50 000 человек), и для таких объектов говорить о радиационном контроле «земельных участков» представляется уместным.

Однако в настоящее время для крупных городов характерна и иная картина застройки: особую инвестицион-

ную привлекательность приобретают участки территорий в районах города с развитой инфраструктурой, исторически занятые зданиями промышленного назначения. Тенденция перевода ряда производств за границы населенного пункта и использование освободившихся площадей в целях строительства жилых и общественных зданий (в градостроительной терминологии именуемая «редевелопмент») приводит к ситуации резкого роста числа зданий и сооружений промышленного назначения, подлежащих сносу. Таким образом, сложившаяся ситуация определяет актуальность вопросов радиационного обследования подобных объектов.

В качестве примеров ниже приведен список ряда промышленных предприятий крупнейших городов России, на землях которых в настоящее время построены (или строятся) объекты жилого и общественного назначения:

– г. Москва: завод ЗИЛ, машиностроительный завод АЗЛК, металлургический завод «Серп и Молот», производство метизов и котлов «Пролетарский труд», ракетный завод им. Хруничева, Владыкинский механический завод, судоремонтный завод МСиСЗ, приборостроительный завод «Манометр», механический завод «Северянин», Второй часовой завод («Слава»), приборостроительный завод «Калибр», электротехнический завод «Динамо», машиностроительный завод «Газстроймаш», компрессорный завод «Борец», летно-испытательный центр НПО «Взлёт», кирпичный завод ЛЗСМиК, и др.;

– г. Санкт-Петербург: часть территории завода «Климов», завод «Прогресс», здание Института постоянного тока, часть корпусов завода «Светлана», хладокомбинат «Петрохолод», корпуса завода «Вулкан»,

завод им. М.И. Калинина, часть территории ЛОМО, Сталепрокатный завод, лакокрасочный завод «Пигмент», Институт прикладной химии, завод железобетонных изделий «Баррикада», машиностроительный завод «Электрик», НПО «Керамика», завод «Стройфарфор», завод «Вагонмаш», завод «Мясомолмаш», молокозавод «Петмол» и др.;

– г. Екатеринбург: корпуса завода «Уралкабель», завод гидрометприборов, деревообрабатывающий завод треста «Стройдеталь-70», завод коммунального машиностроения, завод контрольно-измерительных приборов, лесотарный завод, завод металлофурнитуры, завод механический «Лесозапчасть», заводы «Прогресс», «Радиатор», «Ротор», «Русские самоцветы», «Свердмашприбор», «Уральский часовщик», комбинат домостроительный «Главсредуралстроя», комбинат железобетонных изделий треста «Средуралвострой», комбинат «Уралзолото», фабрика «25 лет октября» и др.

В Казани снос промышленных зданий проводился на территории бывших предприятий «Кулонэнергомаш», Казанского ювелирного завода, фабрики «Спартак» и мясокомбината; в Нижнем Новгороде были снесены или предназначены для сноса здания мукомольного завода, завода «Жемчуг», машиностроительного завода.

Естественно, снос такого количества объектов, подавляющее большинство которых было возведено до 1970-х гг. без учета требований к показателям радиационной безопасности применяемых строительных материалов, приводит к образованию огромного объема производственных отходов, радиационный контроль и сортировка которых после демонтажа зданий является трудновыполнимой задачей, как и выявление в них возможных источников ионизирующего излучения, оставшихся в зданиях после прекращения в них производственной деятельности (рис. 1).



Рис. 1. Производственные отходы после сноса корпуса завода «Светлана» (Санкт-Петербург)
[Fig. 1. Industrial waste generated after the demolition of the “Svetlana” plant building (St. Petersburg)]

Вторая распространенная категория зданий, подлежащих сносу, – это старая жилая застройка окраин населенных пунктов (бывшие деревни, включенные ныне в зону жилого и общественного строительства городов). В качестве примера можно привести д. Усть-Славянка,

существовавшую еще до основания Санкт-Петербурга (в настоящее время – Славянская улица Невского района города), последние старые дома (рис. 2) там были снесены в сентябре 2021 г.



Рис. 2. Старые и новые здания в д. Усть-Славянка (Санкт-Петербург)
[Fig. 2. Old and new buildings in the village of Ust-Slavyanka (St. Petersburg)]

На 2022 г. в Санкт-Петербурге запланирован снос целого квартала на проспекте Обуховской обороны, до-революционной застройки на Рижском проспекте, деревянных зданий у Фарфоровского поста.

Конечно, объем производственных отходов, образующихся при сносе данной категории объектов, несоизмерим с партиями отходов после демонтажа больших производственных зданий и сооружений, однако и здесь проведение радиационного контроля будущих отходов целесообразно проводить на этапе, предшествующем разрушению здания.

Таким образом, не вызывает сомнений необходимость разработки методического обеспечения радиационного контроля зданий и сооружений, предназначенных для сноса, на этапе, предшествующем демонтажу зданий, с целью обеспечения соблюдения требований ОСПОРБ 99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10 к показателям радиационной безопасности производственных отходов. Кроме того, если здания, подлежащие сносу на участке территории, предназначенном под будущее строительство, имеют закрытый контур (окна и двери в подвале, на цокольном и первом этажах здания сохранены), данные о содержании радона в помещениях здания могут стать дополнительной информацией о показателях радоноопасности участка.

Разработка методического обеспечения радиационного контроля зданий и сооружений, подлежащих сносу

За 10 лет применения на практике МУ 2.6.1.2838-11 специалистами Роспотребнадзора в рамках проведения контрольно-надзорных мероприятий и сотрудниками аккредитованных лабораторий, выполняющих радиационные обследования зданий и сооружений, был выявлен ряд задач радиационного контроля, не имеющих соответствующего методического обеспечения (см., напри-

мер, [10]). Поэтому в рамках работы по актуализации МУ 2.6.1.2838-11, которая проводится в настоящее время специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, принято решение расширить область применения данных методических указаний, включив в нее как радиационный контроль эксплуатируемых зданий и сооружений жилого, общественного и производственного назначения, так и радиационный контроль зданий и сооружений, предназначенных для сноса. Актуализированный документ с рабочим названием «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений по показателям радиационной безопасности», дополненный указаниями по проведению радиационного контроля зданий и сооружений на всех этапах их жизненного цикла (при вводе в эксплуатацию, в процессе эксплуатации и при выводе из эксплуатации) должен стать новым полезным методическим инструментом, исключающим неоднозначность толкования отдельных положений нормативных документов, являющуюся зачастую причиной принятия необоснованных управленческих решений.

Раздел актуализированных МУ, посвященный радиационному контролю зданий и сооружений, предназначенных для сноса, должен содержать следующие основные положения:

– обращение с ИИИ: если в здании (сооружении), предназначенном для сноса, имеются известные собственнику или заказчику обследования техногенные или природные источники излучения, связанные с предыдущей деятельностью на объекте, они должны быть удалены из здания (сооружения) до начала радиационного обследования; дальнейшее обращение с ними осуществляется в соответствии с требованиями НРБ-99/2009, ОСПОРБ 99/2010, Постановления Правительства РФ от 19.10.2012 г. № 1069⁷ и СанПиН 2.6.1.2891-11⁸. Если неучтенные (утраченные) источники будут обнаружены в ходе радиационного обследования здания (сооружения), ответственность за дальнейшее обращение с ними (в том числе утилизацию) лежит на собственнике (при его наличии) здания (сооружения), предназначенного для сноса, или заказчике обследования, который в случае необходимости может привлечь лицензированную на соответствующий вид деятельности организацию. Перед началом обследования собственник или заказчик обследования должен предоставить сотрудникам аккре-

дитованной лаборатории всю имеющуюся информацию о характере предыдущего использования объекта с точки зрения радиационной безопасности; в случае сноса зданий и сооружений радиационных объектов или объектов, деятельность которых была связана с использованием ИИИ, могут потребоваться дополнительные исследования уровней альфа- и бета-загрязнения строительных конструкций;

– поиск и выявление в здании или сооружении радиационных аномалий: с этой целью проводится сплошная поисковая гамма-съемка помещений здания или сооружения; в случае обнаружения аномалии (например, фрагмента строительных конструкций, загрязненного гамма-излучающими радионуклидами) проводится ее оконтуривание по уровню мощности амбиентного эквивалента дозы (МАД) гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности 0,6 мкЗв/ч с дальнейшим измерением МАД гамма-излучения в точке с максимальными показаниями поискового прибора на расстоянии 0,1 м от поверхности аномального участка. Измерения МАД гамма-излучения проводятся с целью предварительной оценки количественного содержания ПРН в материале конструкций, поскольку в соответствии с Приложением 7 к СанПиН 2.6.1.2800-10 эффективная удельная активность ПРН ($A_{эфф}$) является интегральной характеристикой внешнего гамма-излучения материалов, содержащих ПРН, которая учитывает удельный вклад содержащихся в них ПРН в мощность дозы гамма-излучения. Условием соответствия требованиям ОСПОРБ 99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10 к производственным отходам 1 категории, обращение с которыми осуществляется без ограничений по радиационному фактору и утилизация которых возможна на полигонах общепромышленных отходов, является значение $A_{эфф}$ в отходах не более 1500 Бк/кг⁹. Учитывая прямопропорциональную зависимость содержания ПРН в материале и создаваемую им мощность дозы гамма-излучения, можно предварительно оценить уровень значения $A_{эфф}$ в отходах по значению МАД гамма-излучения. Когда речь идет о больших партиях материалов, МАД гамма-излучения вблизи материала с $A_{эфф}$ на уровне 1500 Бк/кг составляет около 1,2 мкЗв/ч; однако применительно к локальным радиационным аномалиям, учитывая их возможные небольшие размеры и принимая коэффициент запаса, равным 2 (по аналогии с расчетами защиты от внешнего облучения персонала и населе-

⁷ Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов». [Decree of the Government of the Russian Federation of October 19, 2012 N 1069 "On the criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, the criteria for classifying radioactive waste as special radioactive waste and removable radioactive waste, and the criteria for classification of removable radioactive waste". (In Russ.)]

⁸ Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2891-11. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2011 г. № 91. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 29 сентября 2011 г., регистрационный № 21925. [Radiation safety requirements for production, operation and decommissioning (disposal) of medical equipment containing sources of ionizing radiation. Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2891-11. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2011 No. 91. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on September 29, 2011, registration No. 21925. (In Russ.)]

⁹ Пункты 5.2.5 и 5.2.9 ОСПОРБ 99/2010; пункт 6.3 СанПиН 2.6.1.2800-10. [Paragraphs 5.2.5 and 5.2.9 of OSPORB 99/2010; paragraph 6.3 of SanPiN 2.6.1.2800-10. (In Russ.)]

ния), целесообразно установить контрольный уровень МАД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности загрязненного участка на уровне 0,6 мкЗв/ч. При соблюдении данного значения $A_{эфф}$ в материале завезено не превысит 1500 Бк/кг, и, соответственно, производственные отходы, образовавшиеся вследствие сноса здания, будут относиться к 1 категории по классификации СанПиН 2.6.1.2800-10. Следует добавить, что значение МАД гамма-излучения 0,6 мкЗв/ч является гигиеническим нормативом по внешнему гамма-излучению ПРН во вновь построенных и эксплуатируемых зданиях и сооружениях производственного назначения, при строительстве которых могут быть использованы строительные материалы II класса в соответствии с НРБ-99/2009 с $A_{эфф} \leq 740$ Бк/кг. В случае, если МАД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности загрязненного участка превышает 0,6 мкЗв/ч, необходимо выполнить отбор проб материала на участке радиационной аномалии из точек с максимальными значениями МАД гамма-излучения с последующим лабораторным определением в нем значения $A_{эфф}$, которое является критерием принятия решения о порядке обращения с отходами в соответствии с подразделом 5.2 ОСПОРБ 99/2010 и разделом VI СанПиН 2.6.1.2800-10. Если при отборе проб зафиксирован рост МАД гамма-излучения по мере заглупления в материал (например, в случае проливов, проникших вглубь бетонных или деревянных конструкций), необходимо также выполнить отбор проб материала с глубины, на которой зафиксированы максимальные значения МАД гамма-излучения.

Проект раздела методических указаний по радиационному контролю зданий и сооружений, подлежащих сносу

С учетом вышесказанного разработан проект раздела «Радиационный контроль зданий и сооружений, подлежащих сносу» актуализируемой редакции МУ 2.6.1.2838-11:

1. Радиационный контроль зданий и сооружений, подлежащих сносу, проводится с целью оценки категории производственных отходов, образующихся вследствие сноса зданий и сооружений, в соответствии с классификацией раздела VI СанПиН 2.6.1.2800-10.

2. До проведения радиационного контроля из зданий и сооружений, подлежащих сносу, собственником должны быть удалены все известные (учтенные) источники ионизирующего излучения. В случае формального отсутствия собственника зданий и сооружений, подлежащих сносу, его роль возлагается на орган или организацию, осуществляющую снос или принявшую решение о сносе и являющуюся заказчиком обследования.

3. До проведения радиационного контроля зданий и сооружений, подлежащих сносу, собственник предоставляет аккредитованной лаборатории всю имеющуюся информацию о характере предыдущего использования зданий (сооружений) с точки зрения радиационной безопасности.

4. Первый этап радиационного контроля: сплошная поисковая гамма-съемка помещений зданий и сооружений, подлежащих сносу, с целью выявления неучтенных (утерянных) источников ионизирующего излучения и радиационных аномалий:

– при обнаружении в зданиях и сооружениях, подлежащих сносу, неучтенных (утерянных) закрытых или открытых источников ионизирующего излучения ответственность за их удаление из здания или сооружения и дальнейшее обращение с ними в соответствии с требованиями НРБ-99/2009, ОСПОРБ 99/2010, Постановления Правительства РФ от 19.10.2012 г. № 1069 и СанПиН 2.6.1.2891-11 возлагается на собственника (при его наличии) зданий (сооружений), предназначенных для сноса, или заказчика обследования, который при необходимости привлекает лицензированную на соответствующий вид деятельности организацию;

– радиационной аномалией считается участок конструкций здания (сооружения), подлежащего сносу, где МАД гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности конструкции превышает значение 0,6 мкЗв/ч. Оконтуривание аномалии выполняется по уровню МАД гамма-излучения 0,6 мкЗв/ч на расстоянии 0,1 м от поверхности. На участке радиационной аномалии проводится отбор проб материала из точек с максимальными значениями МАД гамма-излучения и определение $A_{эфф}$ для классификации производственных отходов в соответствии с таблицей 6.1 раздела VI СанПиН 2.6.1.2800-10. Если при отборе проб зафиксирован рост МАД гамма-излучения по мере заглупления в материал, необходимо также выполнить отбор проб материала с глубины, на которой зафиксированы максимальные значения МАД гамма-излучения. Дальнейшее обращение с производственными отходами из материала на участке радиационной аномалии, содержащими только ПРН, осуществляется собственником (при его наличии) зданий и сооружений, предназначенных для сноса, или заказчиком обследования, в соответствии с подразделом 5.2 ОСПОРБ 99/2010 и разделом VI СанПиН 2.6.1.2800-10. При обнаружении техногенных ИИИ собственник (при его наличии) зданий и сооружений, предназначенных для сноса, или заказчик обследования не имеет права осуществлять обращение с ними и привлекает лицензированную на соответствующий вид деятельности организацию¹⁰;

– если МАД гамма-излучения в контрольных точках на расстоянии 0,1 м от поверхности аномального участка не превышает 0,6 мкЗв/ч, то снос зданий и сооружений и обращение с производственными отходами, образовавшимися вследствие сноса, могут осуществляться без ограничений по радиационному фактору.

5. Второй этап радиационного контроля: в случае отсутствия в здании или сооружении, предназначенном для сноса, неучтенных (утерянных) источников ионизирующего излучения и радиационных аномалий (или после их ликвидации), проводятся измерения МАД гамма-излучения в помещениях на расстоянии 0,1 м от поверхности ограждающих конструкций в точках с наибольшими показаниями поискового прибора. Объем контролируемых помещений составляет не менее 25% помещений при их общем количестве не более 10; не менее 10% – при общем количестве более 10 и не более 100; не менее 5% – при общем количестве более 100 и не более 1000; не менее 2% – при общем количестве более 1000. При этом в число контролируемых вклю-

¹⁰ Пункт 1.8 ОСПОРБ 99/2010. [Paragraph 1.8 of OSPORB 99/2010.]

чаются помещения, в которых зафиксированы максимальные показания поисковых приборов, а также помещения после ликвидации обнаруженных локальных радиационных аномалий.

6. В случае, если здания и сооружения, подлежащие сносу, ранее были отнесены в соответствии с НРБ-99/2009 к радиационным объектам, радиационный контроль проводится с учетом характера предыдущей эксплуатации зданий и сооружений и может включать дополнительные исследования (определение удельной активности отдельных техногенных и природных радионуклидов в пробах материалов, оценку уровней альфа- и бета-загрязнения поверхностей), по результатам которых обращение с отходами, образовавшимися вследствие сноса зданий и сооружений, осуществляется собственником (при его наличии) зданий и сооружений или заказчиком обследования в соответствии с требованиями НРБ-99/2009, ОСПОРБ 99/2010, СанПиН 2.6.1.2800-10, Постановления Правительства РФ от 19.10.2012 г. № 1069 и СанПиН 2.6.1.2891-11.

Заключение

Недостаточность методического обеспечения радиационного контроля зданий и сооружений, предназначенных для сноса, может приводить к неоднозначному пониманию задач при его проведении; отсутствие четко изложенных подходов к обследованию таких объектов усложняет выполнение требований санитарного законодательства Российской Федерации для специалистов аккредитованных лабораторий и органов Роспотребнадзора. Учитывая актуальность проблемы в масштабах страны (значительное увеличение за последнее десятилетие количества сносимых объектов промышленного назначения, а также зданий старой застройки, с целью освобождения участков территорий под строительство новых объектов), нельзя не признать, что методические указания по проведению радиационного контроля зданий и сооружений, предназначенных для сноса, являются необходимым инструментом для обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации при облучении природным ИИИ. Предложенный специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева проект раздела «Радиационный контроль зданий и сооружений, подлежащих сносу» в актуализируемых методических указаниях «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений по показателям радиационной безопасности» может стать основой для обсуждения обозначенной проблемы представителями научного сообщества и специалистами практического звена в области радиационной гигиены и выработки окончательной версии документа, необходимого для корректной оценки показателей радиационной безопасности зданий и сооружений, подлежащих сносу.

Персональное участие авторов

Т.А. Кормановская обосновала необходимость разработки методических указаний по радиационному контролю зданий, предназначенных для сноса, сформулировала основные положения раздела методических указаний, написала черновик рукописи и представила окончательный вариант статьи в редакцию журнала.

Д.В. Кононенко провел анализ требований и рекомендаций по радиационному обследованию зданий перед сносом в зарубежных сводах строительных правил, внес дополнительные предложения в раздел методических указаний, отредактировал промежуточный вариант статьи и подготовил английский перевод.

К.А. Сапрыкин проанализировал действующие требования к показателям радиационной безопасности зданий, строительных материалов и производственных отходов и отредактировал промежуточный вариант статьи.

А.С. Васильев выполнил анализ литературных данных, проанализировал архивные измерительные данные и отредактировал промежуточный вариант статьи.

Н.А. Королева выполнила сбор данных об объемах сносимых производственных зданий в крупных городах Российской Федерации и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Е.С. Кокорулина определила основные факторы, влияющие на потенциальную радиационную опасность зданий, предназначенных для сноса, и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Т.А. Балабина проанализировала архивные измерительные данные и отредактировала промежуточный вариант статьи.

И.Г. Матвеева проанализировала архивные измерительные данные и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Благодарности

Авторы благодарны рецензентам за конструктивные замечания и предложения, которые позволили существенно улучшить качество статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовке данной статьи.

Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Стамат И.П., Кононенко Д.В., Кормановская Т.А., Королева Н.А. Анализ сведений о дозах внешнего терригенного облучения населения Российской Федерации в коммунальных условиях // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 33–46.
2. Цапалов А.А., Маренный А.М. Принципы радонового контроля в помещениях зданий // АНРИ. 2014. № 1 (76). С. 6–14.
3. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Жуковский М.В. Метод измерения плотности потока радона из грунта, активированного градиентом давления // АНРИ. 2018. № 2 (93). С. 48–55.
4. Demolition work. Code of Practice. Northern Territory Government, NT WorkSafe, 2020. 53 p.
5. Code of Practice. Demolition work. New South Wales Government, SafeWork NSW, 2019. 59 p.
6. Code of Practice for Demolition of Buildings. Hong Kong: Buildings Department, 2004. 178 p.
7. Demolition of Buildings – Code of Practice (First Revision). Malaysian Standard MS 2318:2010 (P). Malaysia: Department of Standards, 2010. 41 p.
8. Approved Code of Practice for Demolition. New Zealand, Wellington: Occupational Safety and Health Service, Department of Labour, 1994. 58 p.

9. National Building Code of Samoa. Samoa: Ministry of Works, Transport and Infrastructure (MWTI), 2017. 449 p.
10. Васильев А.С., Романович И.К., Кононенко Д.В., и др. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых

общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40.

Поступила: 29.04.2022 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

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

Сапрыкин Кирилл Александрович – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией 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

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

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

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

Матвеева Ирина Георгиевна – техник-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

Для цитирования: Кормановская Т.А., Кононенко Д.В., Сапрыкин К.А., Васильев А.С., Королева Н.А., Кокоулина Е.С., Балабина Т.А., Матвеева И.Г. Контроль показателей радиационной безопасности зданий и сооружений, подлежащих сносу // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 42-51. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-42-51

Radiation survey of buildings and structures to be demolished

Tatyana A. Kormanovskaya, Dmitry V. Kononenko, Kirill A. Saprykin, Alexey S. Vasilyev, Nadezhda A. Koroleva, Elena S. Kokoulina, Tatyana A. Balabina, Irina G. Matveeva

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

The article deals with the issues of normative and methodological support of radiation survey of buildings and structures to be demolished. It is noted that with the intensive growth of construction of dwellings and public buildings in large cities, former industrial territories with a significant number of facilities to be demolished are being included into the development zone. The radiation monitoring and sorting of industrial waste generated after the demolition of buildings is not feasible in practice. The expediency of radiation survey of buildings and structures to be demolished at the stage preceding their dismantling, as well as the need to develop and approve at the federal level the methodology of its implementation is substantiated. Recommendations for the assessment of radiation safety indicators of buildings and structures to be demolished are given. It is shown that if the value of ambient equivalent gamma dose rate in the buildings and structures to be demolished does not exceed 0.6 $\mu\text{Sv/h}$, industrial waste generated after demolition of buildings and structures and containing only natural radionuclides are not a subject to any restrictions related to the radiation factor, since the value of effective activity concentration of natural radionuclides is guaranteed not to exceed 1500 Bq/kg and therefore the waste is classified as Category I in accordance with the Basic sanitary rules for the provision of radiation safety (OSPORB 99/2010).

Key words: sources of ionizing radiation, demolition of buildings, radiation survey, ambient dose equivalent rate, natural radionuclides, effective activity concentration, building materials, industrial waste.

The individual contributions of authors

T.A. Kormanovskaya substantiated the need to develop guidelines for radiation survey of buildings to be demolished, formulated the main provisions of the guidelines, wrote a draft of the manuscript and arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

K.A. Saprykin analyzed the current requirements to the radiation safety of buildings, construction materials and industrial waste, and edited an interim version of the manuscript.

D.V. Kononenko analyzed requirements and recommendations for radiation survey of buildings before demolition in foreign codes of practice, formulated additional provisions of the guidelines, edited an interim version of the manuscript, and translated the final version of the manuscript.

A.S. Vasilyev analyzed literature data and the archived experimental data, and edited an interim version of the manuscript.

N.A. Koroleva collected data on the number of industrial buildings being demolished in major cities of the Russian Federation and edited an interim version of the manuscript.

E.S. Kokoulina identified the main factors influencing the potential radiation hazard of buildings to be demolished and edited an interim version of the manuscript.

T.A. Balabina analyzed the archived experimental data and edited an interim version of the manuscript.

I.G. Matveeva analyzed the archived experimental data and edited an interim version of the manuscript.

Acknowledgements

The authors are grateful to the reviewers for constructive comments and suggestions which significantly improved the quality of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest when conducting the study and preparing the manuscript.

Sources of funding

The study had no sponsorship.

References

1. Stamat IP, Kononenko DV, Kormanovskaya TA, Koroleva NA. Analysis of data on doses of external terrigenous irradiation of the Russian Federation population in municipal conditions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3): 33–46. (In Russian)
2. Tsapalov AA, Marennyy AM. Principles of radon control in buildings. *ANRI*. 2014;1 (76): 6–14. (In Russian)
3. Yarmoshenko I, Malinovsky G, Vasilyev A, Zhukovsky M. Method for measuring radon flux density from soil activated by a pressure gradient. *ANRI=ANRI*. 2018;2 (93): 48–55. (In Russian)
4. Demolition work. Code of Practice. Northern Territory Government, NT WorkSafe; 2020. 53 p.
5. Code of Practice. Demolition work. New South Wales Government, SafeWork NSW; 2019. 59 p.
6. Code of Practice for Demolition of Buildings. Hong Kong: Buildings Department; 2004. 178 p.

Tatyana A. Kormanovskaya

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

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

7. Demolition of Buildings – Code of Practice (First Revision). Malaysian Standard MS 2318:2010 (P). Malaysia: Department of Standards; 2010. 41 p.
8. Approved Code of Practice for Demolition. New Zealand, Wellington: Occupational Safety and Health Service, Department of Labour, 1994. 58 p.
9. National Building Code of Samoa. Samoa: Ministry of Works, Transport and Infrastructure (MWTI), 2017. 449 p.
10. Vasilyev AS, Romanovich IK, Kononenko DV, Kormanovskaya TA, Saprykin KA, Balabina TA. Substantiation of methodical approaches to the control of indoor radon concentration in existing public buildings with non-round-the-clock stay of people. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40. (In Russian)

Received: April 29, 2022

For correspondence: Tatyana A. Kormanovskaya – Ph.D. in Biological Sciences, Leading researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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)

Dmitry V. Kononenko – Researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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>

Kirill A. Saprykin – Senior researcher, Head of the Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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/0000-0002-1277-3807>

Nadezhda A. Koroleva – Senior researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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

Elena S. Kokoulina – Leading research engineer, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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

Irina G. Matveeva – Research technician, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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., Saprykin K.A., Kononenko D.V., Vasilyev A.S., Koroleva N.A., Kokoulina E.S., Balabina T.A., Matveeva I.G. Radiation survey of buildings and structures to be demolished. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 42-51. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-42-51

Недифференцированная олигофрения у потомков внутриутробно облучённых жителей прибрежных сел реки Течи

С.А. Шалагинов^{1,2}, А.В. Аклеев^{1,2}

¹ Уральский научно-практический центр радиационной медицины
Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

Целью работы было изучение распространенности недифференцированной олигофрении у потомков антенатально облучённых родителей. В анализ были включены 2908 потомков антенатально облучённых на реке Тече в пределах Челябинской области, родившихся в 1974–1992 гг. Из них 1705 человек родились от антенатально облучённой матери, 1668 человек – от антенатально облучённого отца, а у 368 человек антенатальному облучению подверглись оба родителя. Средняя доза внутриутробного облучения для всей когорты внутриутробно облучённых лиц составила 5,8 мГр, тогда как у матерей олигофренов – 12,6 мГр, а доза внутриутробного облучения отцов – 5,3 мГр. Установлено, что распространённость олигофрении разной степени тяжести в сравнении с контролем, включающим потомков необлучённых лиц соответствующего возраста, этнической принадлежности и проживающих на сопредельных территориях, обнаруживает тенденцию к повышению. Более 20% случаев умеренной олигофрении как в основной, так и в контрольной группах носили семейный характер. Все случаи тяжёлой олигофрении в сравниваемых группах были спорадическими. В когорте потомков антенатально облучённых лиц зафиксировано повышение ($p < 0,05$) распространённости тяжёлой олигофрении при сравнении с контролем (0,45% и 0,24% соответственно), которая у потомков облучённых матерей составила 0,59%, $p < 0,01$. Для потомства антенатально облучённых отцов соответствующие показатели составили в основной и контрольной группах 0,42% и 0,24% соответственно, $p > 0,05$. Не выявлена зависимость распространённости олигофрении от дозы внутриутробного облучения матери и отца.

Ключевые слова: река Теча, потомки облучённого населения, олигофрения, доза на плод и эмбрион, дозовая зависимость, семейнаяотягощённость.

Введение

Одной из актуальных проблем современной радиобиологии являются эффекты внутриутробного облучения. Особый интерес представляют радиационные медико-биологические эффекты у потомков вследствие внутриутробного облучения гонад у человека. Хорошо известно, что пролиферирующие сперматогонии и ооциты обладают чрезвычайно высокой радиочувствительностью, а пул ооцитов закладывается в яичниках до рождения [1, 2]. Особенности оогенеза и сперматогенеза важны при оценке вероятности возникновения анеуплоидий, одной из основных генетически детерминированных причин умственного недоразвития, в особенности тяжёлого. У мужчин интенсивное формирование сперматозоидов начинается в пубертатном периоде и продолжается в течение всей жизни. У женщин же мейоз инициируется во время внутриутробного развития плода, останавливается на стадии профазы I перед рождением девочки, возобновляется только в процессе первой овуляции в подростковом периоде и затем происходит циклически вплоть до менопаузы [3].

Важно, что ооциты более подвержены мутационным изменениям, чем сперматозоиды. Анеуплоидии, обнаруживаемые у эмбрионов, значительно чаще происходят из яйцеклетки, а не из сперматозоида [4]. Анеуплоидными являются около 30% ооцитов и только 1–2% сперматозоидов [5]. В дополнение к сказанному следует заметить, что по крайней мере 4% анеуплоидий возникают вследствие ошибок митоза на ранних стадиях эмбриогенеза [4]. Немаловажно то, что оогонии более чувствительны к радиационному воздействию, чем яйцеклетки [6, 7]. Таким образом, большая часть анеуплоидий несёт следы событий многолетней давности, и рождение ребенка с хромосомной патологией обнаруживается как минимум через 20–30 лет после воздействия на профазу I. Применительно к ситуации на реке Тече это могут быть потомки антенатально облучённых в 1950–1960 гг. людей, родившиеся в основном в период 1974–1992 гг.

С учётом низкого уровня выявляемости отдельных наследственных заболеваний, малочисленности и неоднородности групп потомков облучённого населения перспективным может быть изучение широко распрос-

Шалагинов Сергей Александрович

Уральский научно-практический центр радиационной медицины

Адрес для переписки: 454076, г. Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: shalaginov@urcrm.ru

транённых заболеваний с высоким этиологическим вкладом наследственных факторов, к которым относится недифференцированная олигофрения. Несмотря на расшифровку генетических механизмов происхождения интеллектуального недоразвития [8–12], на долю недифференцированной олигофрении по-прежнему приходится не менее 50% случаев [13, 14]. При этом именно в этой клинически разнородной группе наиболее часто выявляются различного рода генетические нарушения, описываются новые нозологические формы хромосомных и генных синдромов. В связи с особенностями гаметогенеза у мужчин и женщин возникает объективная необходимость асимметричных подходов в оценке эффектов в потомстве облучённых отцов и матерей. Для потомков облучённых матерей ожидаемый эффект может быть связан с мутагенным воздействием в период формирования пула яйцеклеток в первые 7 месяцев развития эмбриона и плода женского пола.

Ранее сотрудниками Уральского научно-практического центра радиационной медицины (УНПЦ РМ) была изучена заболеваемость недифференцированной олигофренией среди потомков облучённого на реке Тече населения. Однако связь происхождения недифференцированной олигофрении у потомков с радиационным воздействием на гонады родителей не была установлена [15]. Группа потомков антенатально облучённых родителей при этом не анализировалась. Важной предпосылкой для проведения настоящего исследования, имеющего не только научное, но и большое социальное значение, является тот факт, что, по данным медицинских учреждений Челябинской области, наиболее высокий уровень психических заболеваний (в основном, олигофрении) регистрируется в административных районах, по территории которых протекает река Теча [16, 17].

Условием для изучения эффектов у потомков антенатально облучённых на реке Тече лиц является возможность использования уточнённых доз на мягкие ткани эмбриона и плода на основе новой дозиметрической системы – TRDS-2016D [3, 18].

Материалы и методы

В работе использован регистр на лиц с недифференцированной олигофренией, сформированный в УНПЦ РМ в период с 1991 по 2005 г. в результате сплошной выкопировки документов медицинских учреждений и учреж-

дений системы социального обеспечения Челябинской области с полным охватом всех документов (включая архивные данные) из этих учреждений.

Отбирались все случаи олигофрении, диагностированные врачами-психиатрами среди всех родившихся в период с 1974 по 1992 г. включительно. В период сбора информации о случаях олигофрении в Челябинской области возможности определения причин умственного недоразвития были ограничены. Надёжно диагностировался только синдром Дауна, все остальные случаи расценивались как недифференцированные олигофрении. По степени тяжести случаи олигофрении подразделялись в соответствии с принятыми на период сбора информации по заболеваемости критериями в соответствии с МКБ-9.

Рассчитывался стандартный показатель распространённости олигофрении [19]. Как правило, диагноз «Задержка психомоторного развития» (ЗПР) или «Олигофрения» диагностировались, начиная с 2–8-летнего возраста, и затем диагноз мог корректироваться до конца периода сбора первичных данных (2005 г.). Диагноз «ЗПР» за этот период либо снимался, либо трансформировался в диагноз «Олигофрения». Случаи более поздней диагностики (после 8 лет) были редкими, во всех случаях были связаны с организационными моментами.

Паспортные данные умственно отсталых лиц и их родителей перекрещивались с данными регистра облучённого на реке Тече населения и его потомков, сформированного и поддерживающегося в УНПЦ РМ. В результате из числа лиц, проживающих в пределах 5 радиационно-загрязнённых районов Челябинской области (Аргаяшский, Каслинский, Красноармейский, Кунашакский и Сосновский) с совокупным населением на начало 2005 г. около 206 000 человек, были сформированы основная и контрольные группы. Важно, что в пределах рассматриваемой территории осуществлялась естественная миграция и переселение облучённого населения и его потомков.

Как следует из таблицы 1, на территории наблюдения, частично подвергшейся радиоактивному загрязнению, наиболее представительными являются русские (53,3%), башкиры и татары в сумме составляют 46,7%. В основной группе в двух этнолингвистических группах соотношение составляет 44,4% и 55,6% соответственно. Соотношение полов в основной группе составляет 1,05, в контрольной группе – 1,06.

Таблица 1
Распределение изучаемого населения 1974–1992 гг. по национальной принадлежности на 01.01. 2005 г.

[Table 1]

Distribution of the studied population 1974–1992 by nationality as of 01.01. 2005]

Национальность Nationality	Контрольная группа [Control group]		Основная группа [Main group]	
	Абс.	%	Абс.	%
Русские [Russians]	23023	53,3	1284	44,4
Татары и башкиры [Tatars and Bashkirs]	20173	46,7	1624	55,6
В целом [Total]	43196	100,0	2908	100,0

Группу потомков антенатально облучённых составили лица, родившиеся в период с 1974 по 1992 г. от 1 или 2 антенатально облучённых родителей с индивидуализированной дозой внутриутробного облучения. Все потомки антенатально облучённых лиц родились и проживали на конец 2005 г. на территории 5 радиоактивно загрязнённых районов Челябинской области. Важно отметить, что все административные районы характеризуются схожим уровнем социально-экономического развития и медицинского обеспечения. Во всех районах реализованы одни и те же организационные подходы наблюдения за олигофреними, использовались одни критерии диагностики олигофрении.

Дозы на мягкие ткани эмбриона и плода были индивидуально оценены на основе дозиметрической системы TRDS-2016D [3]. Средняя доза антенатального облучения для представителей сформированной когорты составила 5,8 мГр (максимальная – 294,5 мГр). Следует отметить, что средняя доза внутриутробного облучения для матерей олигофренов составила 12,6 мГр, что значительно превышало средний уровень для всей когорты внутриутробно облучённых лиц. Средняя доза внутриутробного облучения отцов олигофренов составила 5,3 мГр.

В качестве контроля были выбраны лица, проживающие в одноименных административных районах, соответствующего возраста, не имеющие контакта с ионизирующим излучением. Из контрольной группы также исключены потомки 1-го и 2-го поколений, рожденные от облучённых на реке Тече лиц, а также потомки лиц, облучённые в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа).

Проанализирована распространённость всех случаев олигофрении, а также только спорадических, за вычетом семейных случаев. Спорадическими считались случаи умственного недоразвития, для которых не была зафиксирована отягощённость по олигофрении среди родственников 1-й степени родства [20].

С учётом нормального распределения численности потомков мужского и женского пола во всех попарно сравниваемых в ходе работы выборках, для статистической обработки использовался критерий соответствия Пирсона χ^2 [21]. Корреляционный анализ зависимости олигофрении от дозы и уровень статистической значимости коэффициента корреляции оценивались в соответствии с классическими методами [21].

Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлены данные о заболеваемости недифференцированной олигофренией в 5 радиоактивно загрязнённых районах Челябинской области. При этом Сосновский район представлен только северной частью: территорией, на которой компактно проживают потомки облучённого на реке Тече населения, родившиеся от лиц, организованно переселённых на данную территорию в период с 1955 по 1959 г.

Можно видеть, что среди лиц 1974–1992 г.р. наиболее высокие показатели недифференцированной олигофрении зарегистрированы в Кунашакском районе (1,91%), а наименьшие – в Каслинском (0,87%), $p < 0,001$. Полученные различия могут быть связаны с различиями в популяционной структуре населения этих районов [15]. В Аргаяшском, Красноармейском и Сосновском районах распространённость олигофрении имеет близкие значения (1,16–1,25%).

Распространённость всех случаев олигофрении (сумма умеренных и тяжёлых, семейных и спорадических) среди потомков антенатально облучённых родителей (табл. 3) была несколько выше, чем в контроле, составляя 1,79% и 1,59%, но различие не было статистически значимым, $p > 0,05$. Выявлена высокая по сравнению с данными литературы [20] доля случаев семейной отягощённости по олигофрении, как в основной группе, так и в контроле

Таблица 2

Распространённость олигофрении, % в радиоактивно загрязнённых районах Челябинской области среди жителей, родившихся в период с 1974 по 1992 г., на начало 2005 г.

[Table 2

The prevalence of oligophrenia, % in radioactively contaminated areas of the Chelyabinsk Oblast among residents born in the period from 1974 to 1992, at the beginning of 2005]

Наименование района [Name of the rayon]	Число жителей [Number of residents]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]	Распространённость олигофрении, % [Prevalence of oligophrenia, %]
Аргаяшский [Argayashsky]	17864	223	1,25
Каслинский [Kaslinsky]	13556	118	0,87
Красноармейский [Krasnoarmeysky]	15838	184	1,16
Кунашакский [Kunashaksky]	12819	245	1,91*
Сосновский [Sosnovsky]	2482	29	1,17
В целом [Total]	62559	799	1,28

* $p < 0,001$ при сравнении с Каслинским районом.
[* $p < 0,001$ when compared with the Kaslinsky rayon.]

– 23,5% и 22,1% соответственно. При этом для основной группы удалось установить практически все родственные связи между олигофренами. В контрольной группе, в основном, были установлены патроклинные связи, так как девичьи фамилии матерей в контрольной группе не всегда были известны. С учетом этого, можно предположить, что в контроле частота спорадических случаев завышена, а частота семейных случаев занижена. Таким образом, вклад факторов популяционной структуры на происхождение олигофрении, зафиксированный и в ранее проведенном исследовании [15], в контрольной группе может быть более высоким, чем в изучаемой группе потомков антенатально облучённых лиц.

Как следует из таблицы 3, распространённость всех случаев олигофрении, включая тяжёлые и умеренные случаи, семейные и спорадические, в потомстве облучённых матерей, с учётом супружеских пар с двумя антенатально облучёнными родителями, была выше, чем в потомстве облучённых отцов, – 2,17% и 1,62% соответственно, однако различия не достигали уровня статистической значимости. Для меньшей по численности группы спорадических случаев различия также не достигают уровня статистической значимости, составляя 1,88% и 1,26% соответственно.

Аналогичный анализ, проведенный отдельно для группы с умеренной олигофренией (дебильность) и тяжёлыми формами умственного недоразвития (имбицильность, идиотия), в каждой из двух групп выявил тенденции, характерные для объединённой группы. При этом для тяжёлых олигофрений достигнуты статистически значимые различия по сравнению с контролем – 0,45% и 0,24% соответственно, $p < 0,05$.

Исходя из особенностей гаметогенеза отцов и матерей, а также меняющихся в процессе онтогенеза различий в доступности мужских и женских гамет и их предшественников для радиационного воздействия, представляется обоснованным отдельный анализ олигофрении у потомков, родившихся от антенатально облучённых матерей и отцов.

Из таблицы 4 можно видеть, что зависимость частоты суммы тяжёлых и умеренных случаев олигофрении в потомстве облучённых женщин от дозы их внутриутробного облучения является низкой и отрицательной как для всех случаев олигофрении (семейные + спорадические), так и отдельно для спорадических случаев – $r = -0,009$ и $-0,092$ соответственно. При этом в первых 3 дозовых группах отмечен последовательный рост распространённости олигофрении от 1,35% до 7,75%, однако в дозовой группе

Таблица 3

Распространённость олигофрении, % в различных группах потомков антенатально облучённого на реке Тече населения

[Table 3]

Prevalence of oligophrenia, % in various groups of offspring of the population antenatally irradiated on the Techa River

Группы потомков [Groups of offspring]	Число лиц в группе [Number of persons in the group]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]		Распространённость олигофрении, % [Prevalence of oligophrenia, %]	
		Всего [Total]	Спорадические случаи [Sporadic cases]	Всего [Total]	Спорадические случаи [Sporadic cases]
Антенатально облучённые мать и отец [Antenatally irradiated mother and father]	465	11	8	2,37	1,72
Антенатально облучённая только мать [Antenatally irradiated mother only]	1240	26	24	2,10	1,94
Антенатально облучённый только отец [Antenatally irradiated father only]	1203	16	14	1,33	1,16
Всего с антенатально облучёнными родителями [Total with antenatally irradiated parents]	2908	52	45	1,79	1,55
Всего с антенатально облучённой матерью [Total with an antenatal irradiated mother]	1705	37	32	2,17	1,88
Всего с антенатально облучённым отцом [Total with an antenatal irradiated father]	1668	27	21	1,62	1,26
Контроль [Control]	43196	685	602	1,59	1,39

«10 и > мГр» отмечено резкое снижение показателя заболеваемости с 7,75% до 1,14% ($p < 0,001$) при сравнении с предыдущей дозовой группой «5,0–9,99 мГр». Аналогичная тенденция зафиксирована для спорадических случаев.

Из таблицы 5 можно видеть, что для умеренных олигофрений отмечены те же тенденции, что и в случае со всеми олигофрениями (см. табл. 4): последовательное повышение величины заболеваемости в первых 3 группах от 1,11% до 4,93% и значительное снижение в группе с максимальной дозой – 0,57%.

Все случаи тяжёлой олигофрении в основной группе были спорадическими. Можно видеть (табл. 6), что для тяжёлых олигофрений характер дозовой зависимости при сравнении с умеренными олигофрениями не меняется, отмечается последовательный рост заболеваемости в первых 3 дозовых группах от 0,25% до 2,82% и значительное снижение в группе с максимальной дозой до 0,57%. В результате так же, как и для умеренных олигофрений, для тяжёлых отмечена низкая отрицательная зависимость от дозы внутриутробного облучения матери, $r = -0,003$, $p > 0,05$.

Таблица 4

Распространённость олигофрении у потомков антенатально облучённых на реке Тече женщин в зависимости от дозы внутриутробного облучения

[Table 4

The prevalence of oligophrenia in the offspring of antenatal irradiated women on the River Techa, depending on the dose of intrauterine exposure]

Дозовые группы, мГр [Dose groups, mGy]	Число потомков облучённых женщин [Number of offspring of irradiated women]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]		Распространённость олигофрении, % [Prevalence of oligophrenia, %]	
		Всего [Total]	Спорадические случаи [Sporadic cases]	Всего* [Total]	Спорадические случаи** [Sporadic cases]
<1,0	814	11	9	1,35	1,11
1,0–4,99	397	11	10	2,77	2,52
5,0–9,99	142	11	9	7,75	6,34
10 и > [10 and >]	352	4	4	1,14***	1,14***
Всего [Total]	1705	37	32	2,18	1,88

* $r = -0,009$, $p > 0,05$; ** $r = -0,092$, $p > 0,05$; *** $p < 0,001$ при сравнении с предыдущей группой.
[* $r = -0,009$, $p > 0,05$; ** $r = -0,092$, $p > 0,05$; *** $p < 0,001$ when compared with the previous group.]

Таблица 5

Распространённость умеренной олигофрении (дебильность) у потомков антенатально облучённых на реке Тече женщин в зависимости от дозы внутриутробного облучения

[Table 5

The prevalence of mild oligophrenia (debility) in the offspring of antenatal irradiated women on the river Techa, depending on the dose of intrauterine exposure]

Дозовые группы, мГр [Dose groups, mGy]	Число потомков облучённых женщин [Number of offspring of irradiated women]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]		Распространённость умеренной олигофрении, % [Prevalence of, debility, %]	
		Всего [Total]	Спорадические [Sporadic cases]	Всего* [Total]	Спорадические** [Sporadic cases]
<1,0	814	9	7	1,11	0,86
1,0–4,99	397	9	8	2,27	2,02
5,0–9,99	142	7	5	4,93	3,52
10 и > [10 and >]	352	2	2	0,57***	0,57
Всего [Total]	1705	27	22	1,58	1,29
Контроль [Control]	43196	583	402	1,35	0,93

* $r = -0,22$, $p > 0,05$; ** $r = -0,25$, $p > 0,05$;
*** $p < 0,05$ при сравнении с предыдущей дозовой группой.
[Note * $r = -0,22$, $p > 0,05$; ** $r = -0,25$, $p > 0,05$;
*** $p < 0,05$ when compared with the previous dose group.]

У потомков облучённых отцов зависимость суммы случаев умеренной и тяжёлой олигофрении от дозы внутриутробного облучения (табл. 7), в отличие от потомства матерей, была положительной, однако не достигала значимых уровней ($r=0,28, p>0,05$) для суммы семейных и спорадических и ($r = 0,41, p>0,05$) отдельно для спорадических случаев. Обращает на себя внимание отсутствие особенностей изменения заболеваемости олигофренией в зависимости от дозы, присущих потомкам антенатально облучённых женщин.

Для группы лиц с умеренными олигофрениями (табл. 8) отмечены все основные черты зависимости заболеваемости от дозы, зафиксированные в предыдущей группе (см. табл. 7).

Зависимость заболеваемости от дозы для небольшого числа случаев тяжёлой олигофрении у потомков антена-

тально облучённых отцов ($r = 0,57, p>0,05$) является наиболее высокой (табл. 9), при этом динамика изменения показателя заболеваемости в дозовых группах близка к таковой для умеренных олигофрений в группе потомков, родившихся от антенатально облучённых отцов (см. табл. 8).

Как среди потомков антенатально облучённых матерей, так и среди потомков антенатально облучённых отцов максимально высокая доля тяжёлых случаев олигофрении отмечена в группе с максимальной дозой внутриутробного облучения (10 и более мГр): 50,0% и 40,0% соответственно. В целом, доля тяжёлых олигофрений в потомстве облучённых отцов составила 26,9%, в потомстве облучённых матерей – 27,0%.

Распространённость тяжёлых олигофрений в потомстве облучённых матерей (см. табл. 6) и отцов (см. табл. 9)

Таблица 6

Распространённость тяжёлой олигофрении у потомков антенатально облучённых на реке Теча женщин в зависимости от дозы их внутриутробного облучения

[Table 6

The prevalence of severe oligophrenia in the offspring of antenatal irradiated women on the Techa River, depending on the dose of their intrauterine irradiation]

Дозовые группы, мГр [Dose groups, mGy]	Число потомков [Number of offspring]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]	Распространённость тяжёлой олигофрении, % * [Prevalence of severe oligophrenia, %]
<1,0	814	2	0,25
1,0–4,99	397	2	0,50
5,0–9,99	142	4	2,82
10 и > [10 and >]	352	2	0,57
Всего [Total]	1705	10	0,59**
Контроль [Control]	43196	102	0,24

* $r = -0,003, p>0,05$; ** $p<0,01$ при сравнении с контролем.
[* $r = -0,003, p>0,05$; ** $p<0,01$ when compared with the control.]

Таблица 7

Распространённость олигофрении у потомков антенатально облучённых на реке Тече мужчин в зависимости от дозы их внутриутробного облучения

[Table 7

The prevalence of oligophrenia in the offspring who were antenatally irradiated on the Techa River of men, depending on the dose of their intrauterine irradiation]

Дозовые группы, мГр [Dose groups, mGy]	Число потомков облучённых мужчин [Number of offspring of irradiated Men]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]		Распространённость олигофрении, % [Prevalence of oligophrenia, %]	
		Всего [Total]	Спорадические [Sporadic cases]	Всего* [Total]	Спорадические** [Sporadic cases]
<1,0	864	10	9	1,16	1,04
1,0–4,99	362	9	6	2,49	1,66
5,0–9,99	189	2	2	1,06	0
10 и > [10 and >]	253	5	5	1,98	1,98
Всего [Total]	1668	26	21	1,56	1,26
Контроль [Control]					

* $r = 0,28, p>0,05$; ** $r = 0,41, p>0,05$.
[* $r = 0,28, p>0,05$; ** $r = 0,41, p>0,05$]

Таблица 8

Распространённость умеренной олигофрении (дебильность) у потомков антенатально облучённых на реке Тече мужчин в зависимости от дозы их внутриутробного облучения

[Table 8]

[The prevalence of mild oligophrenia (debility) in the offspring of men who were antenatally irradiated on the Techa River, depending on the dose of their intrauterine irradiation]

Дозовые группы, мГр [Dose groups, mGy]	Число потомков облучённых мужчин [Number of offspring of irradiated men]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]		Распространённость олигофрении умеренной степени [Prevalence of, debility%]	
		Всего [Total]	Спорадические [Sporadic cases]	Всего* [Total]	Спорадические** [Sporadic cases]
<1,0	864	7	6	0,81	0,64
1,0–4,99	362	7	4	1,93	1,10
5,0–9,99	189	2	0	1,06	0
10 и > [10 and >]	253	3	3	1,19	1,19
Всего [Total]		19	14	1,14	0,84
Контроль [Control]	43196	583	402	1,35	0,93

* $r = 0,001, p > 0,05$; ** $r = 0,31, p > 0,05$.

[* $r = 0.001, p > 0.05$; ** $r = 0.31, p > 0.05$.]

Таблица 9

Распространённость тяжёлой олигофрении у потомков антенатально облучённых на реке Теча мужчин в зависимости от дозы их внутриутробного облучения

[Table 9]

[The prevalence of severe oligophrenia in the offspring of men who were antenatally irradiated on the Techa River, depending on the dose of their intrauterine irradiation]

Дозовые группы, мГр [Dose groups, mGy]	Число потомков [Number of offspring]	Число олигофренов [Number of oligophrenes]	Распространённость тяжёлой олигофрении, % * [Prevalence of severe oligophrenia, %]
<1,0	864	3	0,35
1,0–4,99	362	2	0,55
5,0–9,99	189	0	0
10 и > [10 and >]	253	2	0,79
Всего [Total]	1668	7	0,42
Контроль [Control]	43196	102	0,24

* $r = 0,57, p > 0,05$.

[* $r = 0.57, p > 0.05$]

статистически значимо не различалась, составляя 0,59% и 0,42% соответственно, $p > 0,05$.

Заключение

В результате исследования было подтверждено важное значение факторов популяционной структуры в происхождении олигофрении в радиационно загрязнённых районах Челябинской области [15]. Показано, что в группе лиц 1974–1992 г.р. фактор внутрисемейной отягощённости актуален только для лиц с умеренными формами умственного недоразвития. Для умеренных форм олигофрении (дебильность) внутрисемейная отягощённость среди родственников 1-й степени родства превышает 20%, при практически полном отсутствии случаев внутрисемейной отягощённости для тяжёлых олигофрений

(имбицильность и идиотия). Таким образом, исходя из генетических особенностей популяции реки Течи, выборка лиц с тяжёлыми олигофрениями является более удобным объектом для радиобиологических и эпидемиологических исследований, несмотря на невысокую распространённость случаев тяжёлых олигофрений.

Установлено, что показатели заболеваемости недифференцированной олигофренией (сумма тяжёлых и умеренных олигофрений) потомков антенатально облучённых матерей имели тенденцию к повышению по сравнению с контролем, как при учёте суммы семейных и спорадических случаев олигофрении (2,17% против 1,59%), так и при анализе только спорадических случаев (1,88% против 1,39%). При этом следует иметь в виду завышенную долю спорадических случаев в контроле в связи с отсутствием

таких же полных данных по семейной отягощённости, как в основной группе. В потомстве облучённых отцов тенденция к увеличению заболеваемости не отмечена (для суммы семейных и спорадических случаев олигофрении показатели составили 1,62% у потомков антенатально облучённых родителей и 1,59% в контроле), в группе спорадических случаев – 1,26% против 1,39% соответственно, $p > 0,05$.

Важным результатом является повышение показателя заболеваемости тяжёлыми формами олигофрении для потомства антенатально облучённых женщин при сравнении с контролем: 0,59% и 0,24% соответственно, $p < 0,01$. При этом следует отметить, что все случаи тяжёлой олигофрении в основной группе и подавляющее число случаев в контрольной являются спорадическими. Отсутствие дозовой зависимости для тяжёлых олигофрений может быть связано с повышенной внутриутробной элиминацией потенциальных олигофренов в потомстве матерей, получивших максимальную дозу в период их внутриутробного развития. Важно отметить, что среди самих антенатально облучённых женщин, получивших наиболее высокие дозы облучения, в отличие от антенатально облучённых мужчин, не отмечено случаев тяжёлой олигофрении, значимо снижена распространённость умеренной олигофрении. В когорте этих женщин не зафиксированы случаи рождения детей с синдромом Дауна, отмечено резкое снижение рождения близнецов [15, 22], что также может быть связано с эффектом радиационно-индуцированной элиминации генетически неполноценных эмбрионов и аномально развивающихся плодов. Возможно, эффект такой элиминации имеет пороговое значение дозы.

Заслуживает внимания тот факт, что средняя доза внутриутробного облучения, полученная матерями олигофренов, значительно превышала дозу внутриутробного облучения, полученную отцами олигофренов, а также среднюю дозу в общей выборке внутриутробно облучённых лиц, имеющих здоровое потомство. Потомки антенатально облучённых матерей при сравнении с потомками антенатально облучённых отцов имели тенденцию к повышению распространённости тяжёлой олигофрении – 0,59% против 0,42%. Для спорадических случаев умеренной олигофрении соответствующие показатели составили 1,29% и 0,84%, $p > 0,05$.

Персональное участие авторов

Шалагинов С.А. – сбор и анализ первичных материалов, написание первичного текста статьи, статистический анализ.

Аклеев А.В. – общее научное руководство, корректировка и редактирование текста статьи.

Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность заведующей эпидемиологической лабораторией Л.Ю. Крестининой за ценные рекомендации по формированию групп исследований, заведующей биофизической лабораторией М.О. Дёгтевой за предоставление дозиметрических данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовки данной статьи.

Финансирование

Работа выполнена за счёт финансирования ФМБА России в рамках прикладной научно-исследовательской работы: «Оценка возможности проведения исследований по изучению влияния облучения гонад прародителей на состояние здоровья потомков населения, облучённого на Южном Урале» № 27.002.16.800.

Литература

1. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по радиационной защите от 2007 г.: пер с англ. Под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
2. ICRP, 2012. Early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Annals of the ICRP. 41 (1-2).
3. Degteva M.O., Napier B.A., Tolstykh E.I., et al. Enhancements in the Techa River Dosimetry System: TRDS-2016D code for reconstruction of deterministic estimates of dose from environmental exposures // Health Physics. 2019. Vol. 117, № 4. P. 378-387.
4. Webster A., Schuh M. Mechanisms of Aneuploidy in Human Eggs // Trends in Cell Biology. 2017. Vol. 27, № 4.1. P. 55-68.
5. MacLennan M., Crichton J.H., Playfoot C.J., Adams I.R. Oocyte development, meiosis and aneuploidy // Seminars in Cell and Developmental Biology. 2015. №. 45. P. 68-76.
6. Голиченков В.А. Иванов Е.А. Никерясова Е.Н. Эмбриология. М.: Academia, 2004. С. 23-26, 30-35.
7. Фогель Ф., Мотульски А. Генетика человека. Пер. с англ. М.: Мир, 1990. Т. 2. 378 с.
8. Maulik P.K., Mascarenhas M.N., Mathers C.D., et al. Prevalence of intellectual disability: a meta-analysis of population-based studies // Research in Developmental Disabilities. 2011. Vol. 32, №. 2. P. 419-436.
9. Munir K.M., Friedman S.L., Szymanski L.S. Neurodevelopmental disorders: intellectual disability // Psychiatry, Fourth Edition. 2015. P. 672-705.
10. Funaki S., Nakamura T., Nakatani T., et al. Global DNA hypomethylation coupled to cellular transformation and metastatic ability // FEBS letters. 2015. Vol. 589, №. 24. Part B. P. 4053-4060.
11. McKenzie K., Milton M., Smith G., et al. Systematic review of the prevalence and incidence of intellectual disabilities: current trends and issues // Current Developmental Disorders Reports. 2016. Vol. 3, №. 2. P. 104-115.
12. Kashevarova A.A., Nazarenko L.P., Skryabin N.A., et al. A mosaic intragenic microduplication of LAMA1 and a constitutional 18p11.32 microduplication in a patient with keratosis pilaris and intellectual disability // American Journal of Medical Genetics Part A. 2018. Vol. 176, №. 11. P. 2395-2403.
13. Croen L.A., Grether J.K., Selvin S. The epidemiology of mental retardation of unknown cause // Pediatrics. 2001. Vol. 107, №. 6. 86 p.
14. Xu J., Chen Z. Advances in molecular cytogenetics for the evaluation of mental retardation // American Journal of Medical Genetics Part C: Seminars in Medical Genetics. New York: Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company. 2003. Vol. 117, №. 1. P. 15-24.
15. Шалагинов С.А., Аклеев А.В., Холл П., Гранат Ф. Заболеваемость недифференцированной олигофренией

- потомства лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2002. Т. 47, № 2. С. 26-33.
16. Буртова Е.Ю., Аклеев А.В., Барковская Л.П., Кантина Т.Э., Литвинчук Е.А. Заболеваемость психическими расстройствами населения муниципальных районов Челябинской области, подвергшихся аварийному радиоактивному загрязнению в отдаленном периоде // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 1. С. 22-30.
 17. Буйков В.А. Психическое здоровье населения Южного Урала, подвергшегося радиационному облучению: клинко-динамический, реабилитационный, превентивный аспекты: автореф. дисс...д-ра мед. наук. Томск, 2005. 52 с.
 18. Krestinina L.Yu., Kharyuzov Y.E., Epiphanova S.B., et al. Cancer Incidence after In Utero Exposure to Ionizing Radiation in Techa River Residents // Radiation Research. 2017. Vol. 88, № 3. P. 314-324.
 19. Власов В.В. Эпидемиология М.: ГЭОТАР-МЕД, 2005. 464 с.
 20. Портнов В.А., Маринчева Г.С. Некоторые семейно-демографические показатели в зависимости от степени выраженности умственной отсталости у пробандов // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 1992. Т. 92, № 4. С. 35-38.
 21. Гланц С. Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. М.: Практика, 1999. 459 с.
 22. Шалагинов С.А., Аклеев А.В. Частота многоплодных родов у женщин, подвергшихся хроническому радиационному воздействию в населённых пунктах на реке Тече // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2010. Т. 55, № 3. С. 29-37.

Поступила: 29.03.2022 г.

Шалагинов Сергей Александрович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник эпидемиологической лаборатории Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России; доцент кафедры радиационной биологии биологического факультета Челябинского государственного университета. **Адрес для переписки:** 454076, Россия, Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: shalaginov@urcrfm.ru

Аклеев Александр Васильевич – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, директор Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России; заведующий кафедрой радиационной биологии биологического факультета Челябинского государственного университета, Челябинск, Россия

Для цитирования: Шалагинов С.А., Аклеев А.В. Недифференцированная олигофрения у потомков внутриутробно облучённых жителей прибрежных сел реки Течи // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 52-62. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-52-62

Undifferentiated oligophrenia in the offspring of the in-utero exposed Techa riverside residents

Sergey A. Shalaginov^{1,2}, Alexander V. Akleyev^{1,2}

¹Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

²Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

The objective of the work was to study the prevalence of undifferentiated oligophrenia in the offspring of antenatally exposed parents. The analysis included 2,908 offspring of the Techa River antenatally exposed residents within Chelyabinsk Oblast born in the period 1974-1992. 1,705 of them were born to an antenatally exposed mother, 1,668 – to an antenatally exposed father, and 368 – to both antenatally exposed parents. Mean in-utero dose for the cohort of in-utero exposed population was 5.8 mGy, while the mean dose of mothers of oligophrenic persons was 12.6 mGy, and that of antenatally exposed fathers – 5.3 mGy. It was found that the prevalence of oligophrenia of different degrees of severity compared to the control group, which included the offspring of unexposed persons of the

Sergey A. Shalaginov

Urals Research Center for Radiation Medicine

Address for correspondence: Vоровского Str., 68-A, Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: shalaginov@urcrfm.ru

same age, ethnicity and living in adjacent territories, tends to increase More than 20% of cases of moderate oligophrenia in both main and control groups were of familial nature. All cases of severe oligophrenia in the compared groups were sporadic. There was an increase ($p < 0.05$) in the prevalence of severe oligophrenia when compared to the control group in the offspring cohort of antenatally exposed individuals, 0.45% and 0.24%, respectively, which was 0.59%, $p < 0.01$, in the offspring of exposed mothers. The corresponding rates for the offspring of antenatally exposed fathers were 0.42% and 0.24% in the main and control groups, respectively, $p > 0.05$. No dependence of the prevalence of oligophrenia on the maternal and paternal in-utero dose has been detected.

Key words: Techa river, exposed population offspring, oligophrenia (mental retardation), the dose on the fetus and embryo, dose dependence, family burden.

Personal participation of the authors

Shalaginov S.A. – collection and analysis of primary materials, writing the primary text of the article, statistical analysis.

Akleev A.V. – general scientific guidance, correction and editing of the text of the article.

Acknowledgements

The authors of the article express their gratitude to the head of the epidemiological laboratory Krestinina L.Yu. for valuable recommendations on the formation of research groups, the head of the biophysical laboratory Degteva M.O. for providing dosimetric data.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest when doing the work and preparing this article.

Sources of funding

The work was funded by the FMBA of Russia within the framework of applied research work: «Assessment of the possibility of conducting research to study the effect of irradiation of the gonads of progenitors on the health of descendants of the population irradiated in the Southern Urals» No. 27.002.16.800.

References

- International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. «Alana»; 2009. 344 p. (In Russian).
- ICRP Publication 118. Early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. Annals on the ICRP. 2012; 41 (1-2).
- Degteva MO, Napier BA, Tolstykh EI, Shishkina EA, Shagina NB, Volchkovaet AYu, et al. Enhancements in the Techa River Dosimetry System: TRDS-2016D code for reconstruction of deterministic estimates of dose from environmental exposures. *Health Physics*. 2019;117(4): 378-387.
- Webster A, Schuh M. Mechanisms of Aneuploidy in Human Eggs. *Trends in Cell Biology*. 2017;27(1): 55-68.
- MacLennan M, Crichton JH, Playfoot CJ, Adams IR. Oocyte development, meiosis and aneuploidy. *Seminars in Cell and Developmental Biology*. 2015;45: 68-76.
- Golichenkov VA, Ivanov EA, Nikeryasova EN. Embriology. Moscow: Academla; 2004:23-26,30-35. (In Russian).
- Fogel' F, Motul'ski AV. Human genetics. Moscow: Mir; 1990(2): 378. (In Russian).
- Maulik PK, Mascarenhas MN, Mathers CD, Dua T, Saxena S. Prevalence of intellectual disability: a meta-analysis of population-based studies. *Research in developmental disabilities*. 2011;32(2): 419-436.
- Munir KM, Friedman SL, Szymanski LS. Neurodevelopmental disorders: intellectual disability. *Psychiatry, Fourth Edition*. 2015; 672-705.
- Funaki S, Nakamura T, Nakatani T, Umehara H, Nakashima H, Okumura M et al. Global DNA hypomethylation coupled to cellular transformation and metastatic ability. *FEBS letters*. 2015;589(24, Part B): 4053-4060.
- McKenzie K, Milton M, Smith G, Ouellette-Kunts. Systematic review of the prevalence and incidence of intellectual disabilities: current trends and issues. *Current Developmental Disorders Reports*. 2016;3(2): 104-115.
- Kashevarova AA, Nazarenko LP, Skryabin NA, Nikitina TV, Vasilyev SA, Tolmacheva EN, et al. A mosaic intragenic microduplication of LAMA1 and a constitutional 18p11.32 microduplication in a patient with keratosis pilaris and intellectual disability. *American Journal of Medical Genetics, Part A*. 2018; 176(11): 2395-2403.
- Croen LA, Grether JK, Selvin S. The epidemiology of mental retardation of unknown cause. *Pediatrics*. 2001; 07(6):86.
- Xu J, Chen Z. Advances in molecular cytogenetics for the evaluation of mental retardation. *American Journal of Medical Genetics, Part C: Seminars in Medical Genetics*. 2003; 117(1):15-24.
- Shalaginov SA, Akleev AV, Holl P, Granat F. Incidence of unspecified mental retardation among offspring parents chronically exposed to radiation. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and radiation safety*. 2002; 47(2): 26-33. (In Russian).
- Burtovaya EYU, Akleev AV, Barkovskaya LP, Kantina TE, Litvinchuk EA. Incidence of mental disorders in the population of municipal areas of the Chelyabinsk region in the remote period after accidental radioactive contamination. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situatsiyah = Biomedical and socio-psychological problems of safety in emergency situations*. 2021;1: 22-30. (In Russian).
- Buykov VA. Mental health of the population of the Southern Urals exposed to radiation: clinical and dynamic, rehabilitation, preventive aspects: abstract diss. doctor of Medicine. Tomsk. 2005; 52. (In Russian).
- Krestinina LYu, Kharyuzov YE, Epiphanova, Tolstykh EI, Deltour I, Schüz J, et al. Cancer Incidence after In Utero Exposure to Ionizing Radiation in Techa River Residents. *Radiation Research*. 2017; 88(3):314-324.
- Vlasov VV. Epidemiology. Moscow: GEOTAR-MED; 2005. 464 p. (In Russian).
- Portnov VA, Marincheva GS. Some family-demographic indicators depending on the degree of severity of mental retardation in probands. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im. C.C. Korsakova. = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 1992;92(4): 35-38. (In Russian).
- Glanc S. Biomedical statistics. Moscow: Praktika: 1999. 459 p. (In Russian).
- Shalaginov SA, Akleev AV. Multiple delivery in women affected by chronic radiation in Techa river catchment settlements. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' = Medical Radiology and radiation safety*. 2010;55(3): 29-37. (In Russian).

Received: March 29, 2022

For correspondence: Sergey A. Shalaginov – Candidate of Medical Science, Senior Researcher, Epidemiological Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency; Assistant Professor of Radiobiology Department, Chelyabinsk State University (Vorovsky str., 68-A, Chelyabinsk, 454076, Russia; E-mail: shalaginov@urcrm.ru)

Alexander V. Akleyev – Honored Science Worker of the Russian Federation, Dr. habil. med., Professor, Director of the Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency; Head of the Radiobiology Department, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

For citation: Shalaginov S.A., Akleyev A.V. Undifferentiated oligophrenia in the offspring of the in-utero exposed Techa riverside residents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 52-62. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-52-62

Оценка восприятия радиационного риска родителями и законными представителями детей, проходящих рентгенорадиологические исследования

А.М. Библин¹, А.А. Давыдов¹, А.В. Водоватов^{1,2}, П.А. Стрельникова², А.Н. Черных², В.Г. Пузырев²

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

Риск-коммуникация является одним из этапов анализа риска для здоровья и представляет собой интерактивный процесс обмена информацией и мнениями о рисках, в том числе медицинского характера, между специалистами по оценке риска, лицами, принимающими управленческие решения, средствами массовой информации, заинтересованными группами и широкой общественностью. При организации взаимодействия с заинтересованными сторонами в процессе риск-коммуникации социологические исследования помогают изучить позиции сторон. Одной из ситуаций риск-коммуникации в области радиационной гигиены является предоставление пациентам и их законным представителям информации о радиационных рисках для здоровья при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований. Целью данного исследования являлась оценка восприятия радиационного риска родителями и законными представителями детей, проходящих рентгенорадиологические исследования. По специально разработанной в Санкт-Петербургском научно-исследовательском институте радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева анкете на базе крупного детского инфекционного стационара был проведен опрос законных представителей детей, находящихся на стационарном лечении в учреждении в период с ноября 2021 г. по март 2022 г. Всего было опрошено 125 человек. Исследование показало, что достоверные различия в восприятии радиационных рисков у родителей и законных представителей детей, проходящих стационарное лечение, с различными социально-демографическими характеристиками отсутствуют. Уровень знаний о вопросах радиационной безопасности не определен в качестве фактора, формирующего толерантное отношение к медицинским радиационным рискам. Родители и законные представители детей, проходящих лечение в стационаре, демонстрируют высокие показатели доверия к лечащим врачам и медицине в целом. Результаты исследования показывают, что те, кто был проинформирован о рисках, в целом ниже оценивают степень опасности рентгенорадиологических медицинских исследований, чем те, кого о рисках не информировали.

Ключевые слова: риск-коммуникация, восприятие риска, медицинское облучение, пациенты, ионизирующее излучение.

Введение

Риск-коммуникация является одним из этапов анализа риска для здоровья и представляет собой интерактивный процесс обмена информацией и мнениями о рисках, в том числе медицинского характера, между специалистами по оценке риска, лицами, принимающими управленческие решения, средствами массовой информации (СМИ), заинтересованными группами и широкой общественностью [1, 2].

Частным случаем риск-коммуникации является предоставление пациентам и их законным представителям информации о воздействии ионизирующего излучения (ИИ) на организм человека в рамках проведения медицинских рентгенорадиологических исследований (РРИ). Ключевыми вопросами в данной ситуации являются обоснованность использования предлагаемого метода диагностики или лечения, наличие более безопасных альтернатив и сравнение их эффективности, сравнительная оценка радиационного

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

риска при использовании ИИ с нерадиационными рисками в случае отказа или выбора другого метода медицинской визуализации, а также доверие к медицинским работникам [2]. Важность риск-коммуникации с пациентами и их законными представителями подтверждается комплексом методических и справочных документов, разработанных в последние годы крупнейшими международными организациями [3–6], и является предметом исследования в современных научных публикациях [7–10].

Свои особенности имеет риск-коммуникация с родителями и законными представителями детей, которым выполняют различные РРИ. Дети наиболее восприимчивы к воздействию ИИ, а родители и законные представители острее всего воспринимают угрозу возникновения негативных последствий (радиационных рисков) вследствие проведения РРИ их детям. Задачей врача в данном случае является снижение необоснованной тревожности родителей и законных представителей детей и убеждение их в оправданности назначения РРИ [4–10].

В Российской Федерации информирование пациентов и их законных представителей об ожидаемой или о получаемой пациентом дозе облучения и о возможных негативных последствиях при проведении РРИ является неотъемлемой частью обеспечения радиационной безопасности в лучевой диагностике. Данное требование изложено в статье 17 Федерального закона от 09.01.96 г. № 3-ФЗ «О радиаци-

онной безопасности населения», а также в различных подзаконных актах (санитарных правилах и нормах^{1,2,3}, методических указаниях⁴ и рекомендациях⁵). На данный момент в нормативно-методических документах Роспотребнадзора не конкретизированы механизмы исполнения данного требования. В документах Минздрава таких требований и, как следствие, механизмов их исполнения нет.

Так, оценка ожидаемой/полученной дозы облучения пациента может выполняться в соответствии с утвержденными методиками⁶ или производиться с использованием специализированного программного обеспечения, интегрированного в аппараты для рентгеновской и радионуклидной диагностики. При отсутствии возможности провести такую оценку по объективным данным для информирования пациента могут быть использованы известные значения средних (типичных) доз облучения пациентов из литературных источников; погрешность такой оценки является приемлемой для целей информирования [11].

Более сложным и неоднозначным является процесс сообщения пациенту/его законному представителю сведений о возможных негативных последствиях облучения. В действующих нормативно-методических документах Роспотребнадзора в качестве меры оценки последствий облучения человека используется радиационный риск, оцениваемый с учетом пола и возраста пациента в момент облучения⁷. К сожалению, использование значений

¹ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26 апреля 2010 г. №40. [Basic Sanitary Rules for Radiation Safety (OSPORB-99/2010). Approved and enacted by Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 40 of April 26, 2010. (In Russ.)]

² Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских аппаратов и проведению рентгенологических исследований. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.1192-03. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18 февраля 2003 г. № 8. Введены в действие с 1 мая 2003 г. [Hygienic requirements on the construction and operation of X-ray units and X-ray examinations. Sanitary Rules and Norms SanPiN 2.6.1.1192-03. Approved by Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on February 18, 2003 № 8. Put into effect from May 1, 2003. (In Russ.)]

³ Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.3288-15. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 20 июля 2015 г. №31. [Hygienic requirements on the radiation safety in positron emission tomography. Sanitary Rules and Standards SanPiN 2.6.1.3288-15. Approved by Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 31 of July 20, 2015. (In Russ.)]

⁴ Методические указания «Радиационная защита детей в лучевой диагностике». Утверждены постановлением руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главного государственного санитарного врача Российской Федерации А.Ю. Поповой 26 июля 2016 г. [Methodical guidelines "Radiation protection of children in X-ray diagnostics". Approved by the Resolution of the Head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation A.Yu. Popova, July 26, 2016. (In Russ.)]

⁵ Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.09.2020 г.). [Methodical Recommendation (MR) 2.6.1.0215-20 "Assessment of radiation risk of patients from radiological examinations". Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 21.09.2020). (In Russ.)]

⁶ Методические указания «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». Утверждены постановлением руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главного государственного санитарного врача Российской Федерации Г.Г. Онищенко от 19 июля 2011 г. [Methodical instructions "Control of Effective Doses of patients from Medical X-Ray Examinations". Approved by the Resolution of the Head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation G.G. Onishchenko of July 19, 2011. (In Russ.)]

⁷ Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.09.2020 г.). [Methodical Recommendation (MR) 2.6.1.0215-20 "Assessment of radiation risk of patients from radiological examinations". Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 21.09.2020). (In Russ.)]

радиационного риска именно для информирования пациента крайне затруднительно по следующим причинам:

- риск рассчитывается не для конкретного пациента, а для популяции (выборки) в целом;
- расчеты риска не учитывают индивидуальные особенности пациента (диагноз, период дожития и пр.);
- оценивается вероятность реализации радиационно-индуцированных раков в перспективе, что крайне затруднительно для понимания неподготовленным человеком.

Сведения о радиационном риске целесообразно приводить в сравнении с другими рисками от прочих факторов внешней среды, в том числе и с рисками развития осложнений заболевания или побочных эффектов от других методов диагностики и лечения, а также с пользой от проведения таких исследований. Такие сведения, как правило, в доступной для неподготовленного человека форме в открытом доступе не представлены.

При этом в средствах массовой информации, особенно в сети Интернет, представлено значительное количество сведений о последствиях облучения человека и животных. Данные сведения зачастую ошибочно интерпретируются и преувеличивают опасность облучения человека ИИ, что может приводить к усилению негативного восприятия радиационного риска и отказам от обоснованных с медицинской точки зрения РПИ.

При организации взаимодействия с заинтересованными сторонами в риск-коммуникации подготовительным этапом являются социологические исследования, в ходе которых участники информационного взаимодействия получают возможность изучить установки друг друга с тем, чтобы само взаимодействие носило максимально конструктивный характер [2, 12]. Информация, полученная в ходе социологических исследований, может применяться для подготовки информационных материалов, главным адресатом которых являются пациенты и их законные представители, и образовательных программ для специалистов, в должностные обязанности которых входит риск-коммуникация [12].

К сожалению, отечественные исследования восприятия ИИ пациентами и их законными представителями на момент проведения исследования практически отсутствовали [13, 14].

Таким образом, целью данного исследования являлась оценка восприятия радиационного риска законными представителями детей, проходящих РПИ. Для достижения данной цели в ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева была разработана анкета, проведено анкетирование родителей и законных представителей детей, находящихся на стационарном лечении, и проведена оценка ответов респондентов на вопросы анкеты.

Были выдвинуты следующие гипотезы:

1. Социально-демографические характеристики могут оказывать влияние на восприятие респондентами опасности ИИ, в связи с чем для различных социально-демографических групп пациентов и их законных представителей нужны различные стратегии риск-коммуникации.

2. Уровень знаний в сфере радиационной безопасности может быть предиктором толерантного отношения к радиационным рискам.

3. Риск-коммуникация способна влиять на восприятие радиационных рисков, даже в случае, если её проводят неподготовленные специалисты системы здравоохранения.

Материалы и методы

Исследование было выполнено на базе крупного детского инфекционного стационара в г. Санкт-Петербурге (далее – стационар). Исследование проводилось в период с ноября 2021 г. по март 2022 г. Всего было опрошено 125 человек. Опрашиваемые – родители и законные представители детей, находящихся на стационарном лечении в учреждении. В выборку вошли 100 женщин и 25 мужчин. Диапазон возрастов респондентов составил от 17 до 63 лет; средний возраст — 32 года. Часть анкет заполнялась в бумажном виде с последующим переносом ответов в сервис Google.Forms, часть анкет была напрямую заполнена респондентами в сервисе Google.Forms на своих смартфонах⁸.

Структура анкеты включала в себя несколько смысловых блоков: тест на знания в сфере радиационной безопасности; блок вопросов о восприятии радиационных, медицинских и иных рисков; вопросы об особенностях информирования медицинским персоналом о рисках, связанных с медицинским облучением при проведении РПИ; социально-демографические характеристики респондентов.

В рамках теста на оценку уровня знаний в сфере радиационной безопасности респондентам было предложено ответить на 4 вопроса:

1. Что из перечисленного может быть источником радиации (возможно несколько вариантов ответа)?
2. Как человек может получить дозу радиации (возможно несколько вариантов ответа)?
3. В каких областях деятельности используется радиация (возможно несколько вариантов ответа)?
4. Как можно обнаружить повышенную по сравнению с естественным фоном радиацию (возможно несколько вариантов ответа)?

Максимальный балл за тест составлял 15 баллов (правильных ответов). В целях анализа респонденты были поделены на 3 группы: имеющие хорошие знания (12–15 баллов), средние (8–11 баллов) и плохие (0–7 баллов).

Блок вопросов о восприятии радиационных и других рисков включал в себя вопросы о факторах риска, представляющих наибольшую опасность для детей респондентов (дорожно-транспортные происшествия (ДТП), наркомания, медицинское облучение и т.д.), с просьбой оценить их по шкале от 1 (наименее опасно) до 5 (наиболее опасно). Аналогичная шкала была использована в вопросе о том, насколько опасными представляются различные виды медицинской визуализации, применяющиеся не только для детей, но и для взрослых (флюорографии, компьютерной томографии (КТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), маммографии и т.д.). Также респондентов попросили проранжировать различные виды угроз — радиационных и нерадиационных. В список вошли атомные электростанции (АЭС), пункты захоронения радиоактив-

⁸ Анкета для родителей детей и их законных представителей на сервисе Google.Forms <https://docs.google.com/forms/d/1d8f2qk71acNdUqxLnLgxCRYUjoiATvMYsP7GJor9ikpY> [Link to the questionnaire for parents and legal representatives to the Google.Forms (In Russ.)]

ных отходов (ПЗРО), японские морепродукты, проживание рядом со свалкой мусора и два вида РПИ (флюорография и компьютерная томография). При этом использовалась шкала от 1 до 6, где 1 – наименее серьезная угроза, 6 – наиболее серьезная.

Дополнительно был задан прямой вопрос о страхе прохождения РПИ; положительно ответившим на этот вопрос предлагалось озвучить, чего именно они боятся (открытый вопрос без заранее предложенных вариантов ответа).

В блоке о практиках информирования респондентов попросили оценить источники информации о болезнях по степени доверия им и частоте использования. Оценка проходила по пятибалльной шкале: от 1 (совсем не доверяю или совсем не использую) до 5 (полностью доверяю или преимущественно использую). В ходе анкетирования уточнялось, проходил ли ребенок респондента РПИ в стационаре и проводилось ли информирование о возможных рисках, а также кем оно проводилось. Уточнялось мнение респондентов о необходимости предоставления им подобной информации.

В блоке вопросов о практике проведения РПИ и информирования о рисках подобных исследований были заданы вопросы об использовании средств индивидуальной защиты (СИЗ) детьми и законными представителями в момент прохождения РПИ, присутствии законного представителя в кабинете в момент проведения РПИ и факте предложения врачом альтернативы РПИ.

В заключительном блоке респондентам были заданы вопросы об их опыте отказа от РПИ или, наоборот, прохождении по собственной инициативе и причинах как отказа, так и прохождения исследований по собственной инициативе.

Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием свободной программной среды вычислений R (v.3.5.1).

В случае описания количественных показателей, имеющих нормальное распределение, полученные данные объединялись в вариационные ряды, в которых проводился расчет средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ).

Номинальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение номинальных данных проводилось при помощи критерия χ^2 Пирсона, позволяющего оценить значимость различий между фактическим количеством исходов или качественных характеристик выборки, попадающих в каждую категорию, и теоретическим количеством, которое можно ожидать в изучаемых группах при справедливости нулевой гипотезы.

Сравнение результатов измерения разных подгрупп в выборке по порядковым шкалам производилось с помощью критерия Манна – Уитни, сравнение результатов измерения разницы между доверием и использованием источников информации производилось с помощью критерия Уилкоксона.

Результаты и обсуждение

Описание выборки

Для проверки гипотез, сформулированных в разделе «Материалы и методы», общая выборка респондентов была разделена на ряд подгрупп в зависимости от возраста, уровня дохода, образования и семейного положения.

В зависимости от возраста респонденты были разделены по 3 категориям: <26 лет (32%, $n=41$), от 27 до 35 лет (48,0%, $n=60$) и >36 лет (19,2%, $n=24$).

Возраст детей респондентов находился в диапазоне от 3 месяцев до 9 лет, средний возраст — 4,2 года, стандартное отклонение — 3,1, медиана — 3 года.

Большинство респондентов, находящихся в стационаре со своими детьми, можно отнести к гражданам со средними или высокими доходами. Респонденты могли себя отнести к одной из пяти категорий: «Денег не хватает даже на продукты питания» (4,8%, $n=6$), «На продукты питания денег хватает, но покупка одежды уже вызывает затруднения» (3,2%, $n=4$), «Денег хватает на продукты и одежду, однако покупка вещей длительного пользования для нас является проблемой» (32,8%, $n=41$), «Мы можем без труда приобретать вещи длительного пользования, но нам сложно приобретать дорогие вещи» (45,6%, $n=57$), «Мы можем позволить себе приобретать такие дорогие вещи, как квартира, дача» (10,4%, $n=13$), 3,2% ($n=4$) предпочли не отвечать на вопрос.

Для целей анализа категории были укрупнены в 2 группы: с низкими и средними доходами (40,8%, $n=51$) и с высокими доходами (56%, $n=70$), 3,2% ($n=4$) предпочли не отвечать на вопрос. С той же целью респонденты были разделены на две категории по семейному положению: одинокие (давшие ответы «не замужем(женат)» или «вдова(-ец)» на вопрос о семейном статусе) (17,6%, $n=22$) и есть супруг(-а), партнер (давшие ответы: «замужем (женат)» или «в гражданском браке») (82,4%, $n=103$).

Респонденты имеют высокий образовательный уровень: две трети (64,0%, $n=80$) имеют высшее образование, треть (31,2%, $n=39$) – среднее специальное (28,8%, $n=36$) и ниже (2,4%, $n=3$). В целях анализа сравнивались ответы респондентов с высшим образованием и респондентов с другими уровнями образования.

В соответствии с гипотезой об отличии восприятия радиационных рисков у респондентов с техническим, медицинским, естественно-научным профилем образования в целях анализа были выделены две категории, объединяющие: 1) естественно-научный, медицинский, технический профили образования и 2) гуманитарные, социо-гуманитарные и прикладные профили образования. Результаты распределения респондентов по образовательным профилям представлены в таблице 1.

Знания и опасения респондентов

Респонденты показали хороший уровень знаний в сфере радиационной безопасности, 32,0% ответивших набрали 11–15 баллов, 49,6% – больше 8 баллов (табл. 2).

Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Респонденты проранжировали факторы риска как радиационной, так и нерадиационной природы по степени опасности. Результаты исследования показали, что наи-

Распределение респондентов по сфере полученного образования

Таблица 1

[Table 1

Distribution of respondents by field of education]

Категория [Category]	Варианты ответов [Answer options]	%	n	%	n
1	Естественно-научное [Science]	6,4	8	40,8	51
	Медицинское [Medical]	15,2	19		
	Техническое [Technical]	19,2	24		
2	Гуманитарное, социо-гуманитарное [Humanities]	32,0	40	52,0	65
	Прикладное (кулинария, торговля и т.д.) [Applied (cooking, trade, etc.)]	13,6	17		
—	Другое [Other]	6,4	8	7,2	9
	Не дали ответа [Did not answer]	7,2	9		
	Всего [Total]	100,0	125	100,0	125

Таблица 2

Распределение респондентов по уровню знаний в сфере радиационной безопасности по результатам теста

[Table 2

Distribution of respondents by level of knowledge in the field of radiation safety according to test results]

Уровень знаний [Level of knowledge]	Критерий отнесения [Attribution criteria]	%	N
Плохой [Poor]	0–7 баллов [0–7 points]	18,4	23
Средний [Average]	8–11 баллов [8–11 points]	49,6	62
Хороший [Good]	12–15 баллов [12–15 points]	32,0	40

более остро воспринимаются объекты атомной энергетики – ПЗРО и АЭС. Наименее остро воспринимаются такие факторы риска, как флюорография и морепродукты японского происхождения. Компьютерная томография как источник опасности воспринимается острее, чем флюорография, но менее остро, чем АЭС или ПЗРО (рис. 1). Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Анализ восприятия рисков различной природы, которые угрожают детям респондентов, показал, что медицинские ИИИ воспринимаются менее остро, чем многие другие риски родителями и законными представителями детей, проходящих лечение в медицинской организации. Наиболее остро воспринимаются ДТП, наркомания, стигматизированные заболевания (туберкулез, гепатиты). На уровне медицинского облучения или менее остро воспринимается только вакцинация – от COVID-19 и других болезней (рис. 2).

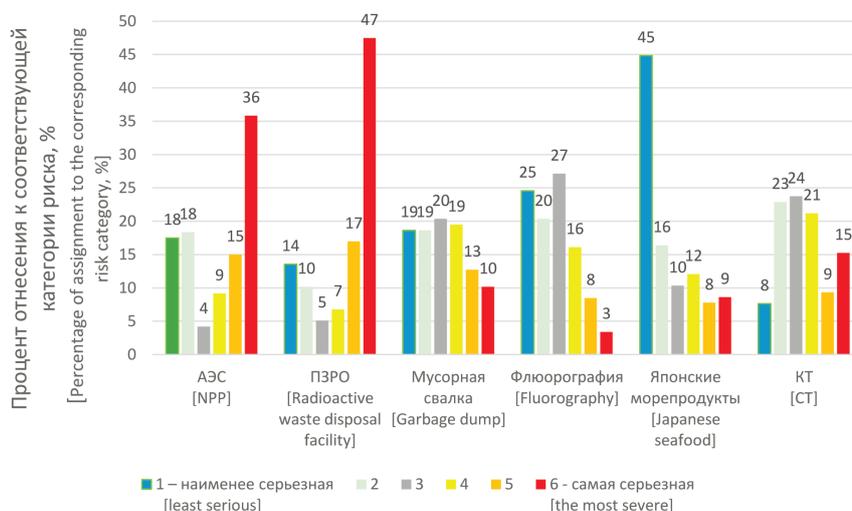


Рис. 1. Распределение рангов опасности различных видов угроз респондентами, 1 – самая низкая угроза, 6 – самая высокая, % [Fig. 1. Distribution of danger ranks of different types of threats by respondents, 1 – lowest threat, 6 – highest threat, %]

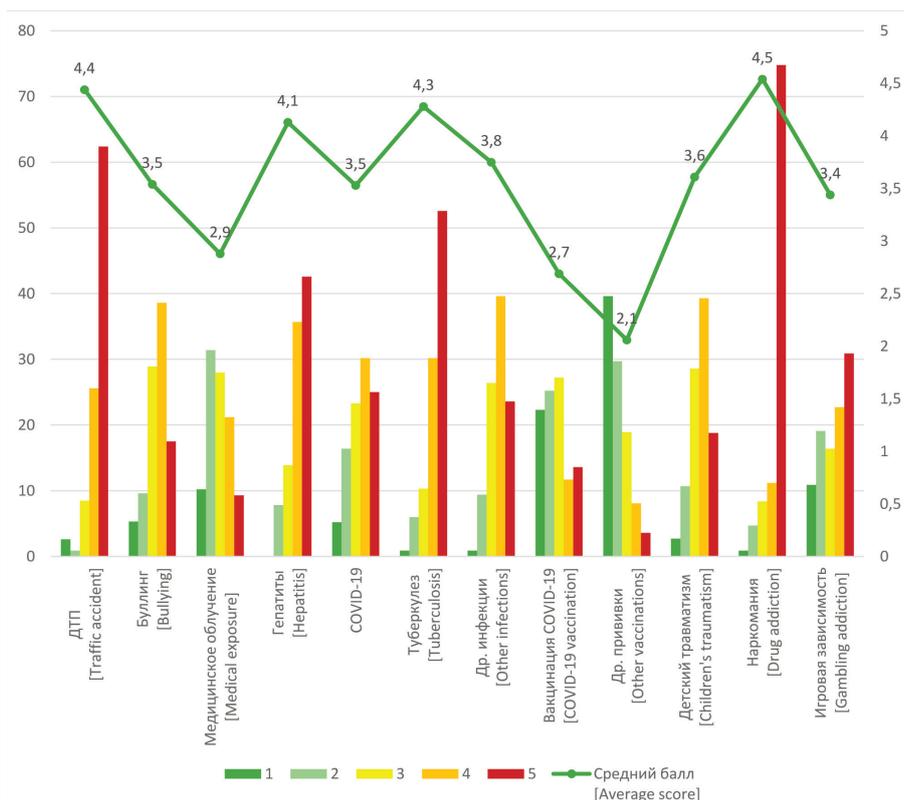


Рис. 2. Распределение ответов на вопрос о факторах риска, наиболее опасных для детей респондентов, рассчитанные средние баллы опасностей

[Fig. 2. Distribution of answers to the question about the risk factors most dangerous for the children of respondents, calculated average hazard scores]

На вопрос: «Опасаетесь ли вы воздействия радиации при проведении медицинских исследований?» половина респондентов (48,0%, $n=60$) заявили, что не опасаются РРИ, другая половина – опасаются (29,6%, $n=37$) или не определились с ответом (22,4%, $n=28$). Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Ответы на открытый вопрос о причинах страха можно разделить на три категории:

1. Страх перед самим фактом облучения без уточнения последствий (51,5% ответов, $n=17$).
2. Страх развития злокачественных новообразований (12,1% ответов, $n=4$).
3. Прочие негативные эффекты, не связанные с канцерогенезом (36,4% ответов, $n=12$).

Ответы респондентов в основном однословные (например, «рака», «облучения»), однако есть и развернутые ответы, отражающие страхи родителей и законных представителей и представляющие интерес для разработки информационных материалов по риск-коммуникации: «Передозировка, если много процедур в ограниченный период времени», «Ошибки при проведении исследований касательно дозы облучения ребенка (большей чем нужно)», «Облучение может серьезно повлиять на жизненно важные органы», «Облучение внутренних органов», «Может произойти что угодно в будущем», «Кормлю грудью, радиация попадет ребёнку», «Возникновение рака в будущем», «Влияние на иммунитет, работоспособность организма», «Болезней,

которые могут спровоцировать эти исследования». Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Информирование

Родители и законные представители детей, проходящих лечение в медицинской организации, в первую очередь, доверяют врачам и используют поступающую от них информацию (рис. 3). При этом зачастую пациентам удобнее ознакомиться с информацией в сети Интернет и СМИ. Подобное было замечено авторами при проведении всероссийского опроса по восприятию рисков радона — населению легче получить информацию в сети Интернет, но при этом они в большей степени доверяют работникам системы здравоохранения, нежели СМИ, знакомым и друзьям [15]. Высокий уровень доверия медицинским работникам и ученым в сфере информации о здоровье при преимущественном использовании медиа (СМИ, Интернет) выявлялся как в ходе многолетних исследований сотрудников ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в области радиационной гигиены [16–19], так и в массовых общероссийских опросах в сфере здравоохранения в целом [20–22]. Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Следует обратить внимание на достоверное различие между уровнями доверия и использованием информации для следующих источников: Минздрав, зарубежные организации и Интернет (критерий Уилкоксона, z -score = -5,49,

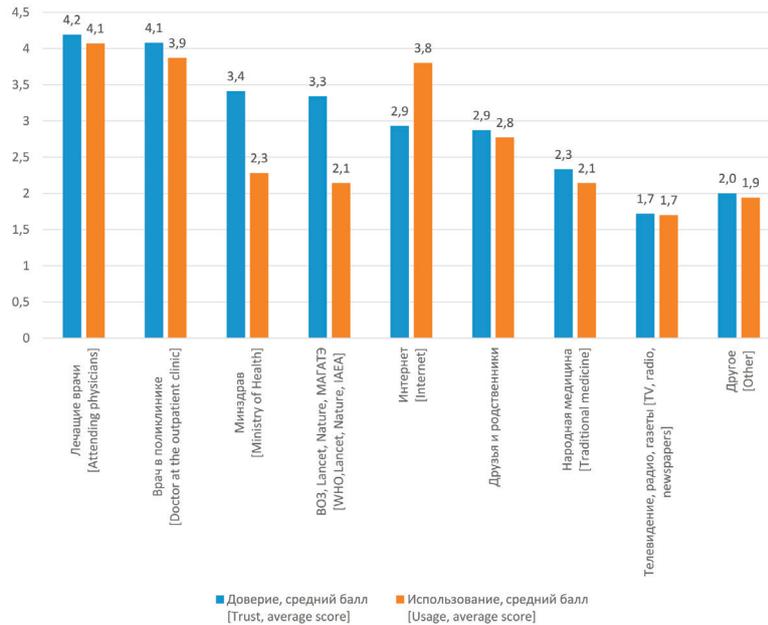


Рис. 3. Средние баллы доверия и использования респондентами различных источников информации в случае болезни (самого респондента и/или его ребенка): 1 – совсем не доверяю, совсем не использую, 5 – преимущественно использую, полностью доверяю

[Fig. 3. Average scores of respondents' trust and use of various sources of information in case of disease (of the respondent and/or his/her child), 1 – do not trust at all, do not use at all, 5 – mostly use, fully trust]

p -value < 0,001; z -score = -5,49, p -value < 0,001; z -score = -6,92, p -value < 0,001 соответственно). Для Минздрава и зарубежных организаций отмечается высокий уровень доверия и низкий уровень использования, в то время как для Интернета характерен низкий уровень доверия и высокий уровень использования. Традиционные СМИ имеют наименьший уровень доверия. Таким образом, информация, представленная в доступном для непрофессионалов виде, будет распространяться вне зависимости от доверия к ней, что ещё раз указывает на необходимость разработки и продвижения информационных ресурсов в сети Интернет. Ресурсы должны наполняться достоверной информацией с привлечением компетентных специалистов, имеющих высокий уровень доверия.

Подавляющее большинство респондентов (82,4%, $n=103$) уверены, что им должна быть предоставлена полная информация о полученной ими и/или их ребенком дозе облучения при проведении РРИ, возможных последствиях для здоровья и радиационных рисках. Не согласны с этим 9,6% ($n=12$) и не могут определиться с ответом 8,0% ($n=10$) принявших участие в опросе. Достоверно сильнее всего данной информацией интересуются респонденты в возрастной группе 27–35 лет (значение χ^2 – 9,66, 4 ст.св., p -value – 0,047) (рис. 4).

Результаты анкетирования показали, что только для 43,2% респондентов было проведено информирование (табл. 3).

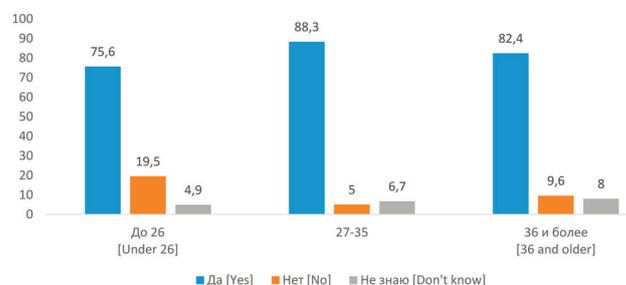


Рис. 4. Распределение ответов на вопрос: «Считаете ли Вы, что Вам обязательно должна быть предоставлена полная информация о полученной Вами и/или Вашим ребенком дозе облучения при проведении медицинских исследований, возможных последствиях для здоровья и радиационных рисках?» в зависимости от возраста, %

[Fig. 4. Distribution of answers to the question: “Do you think you should be provided with full information about the radiation dose you and/or your child received during medical examinations, possible health consequences, and radiation risks?” depending on age, %]

Распределение ответов на вопросы: «Была ли предоставлена информация в этой медицинской организации?» и «Кто Вам предоставил информацию о возможных последствиях для здоровья и радиационных рисках?»

Таблица 3

Distribution of answers to the questions: "Was the information provided by this medical organization?" and "Who provided you with information about potential health effects and radiation risks?"

Варианты ответа [Answer options]	%	n
Не было предоставлено [Not provided]	56,8	71
Врач-рентгенолог [Radiologist]	7,2	9
Другое [Other]	3,2	4
Лечащий врач [Attending physician]	15,2	19
Медсестра [Nurse]	6,4	8
Неопределенное лицо [Undetermined person]	3,2	4
Рентген-лаборант [X-ray lab technician]	8,0	10
Всего [Total]	100,0	125

Как следует из таблицы 3, в основном, информация предоставлялась лечащими врачами (15,2%), рентген-лаборантами (8%), врачами-рентгенологами (7,2%) и медсестрами (6,4%), что соответствует обобщенным трудовым функциям для данных категорий медицинско-го персонала, представленным в соответствующих профессиональных стандартах^{9,10,11}. Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Практики проведения исследования и результаты информирования

Почти все респонденты, детям которых были выполнены РРИ (n=81), утверждают, что при их проведении использовались СИЗ (табл. 4). Более 20% респондентов находились в момент исследований рядом с ребенком (респонденты с маленькими детьми). Только 12,8% респондентов утверждают, что врачом были предложены альтернативы. Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Родителям и законным представителям детей, находящихся на лечении, был задан вопрос о том, какие виды РРИ являются наиболее опасными (без уточнения – для детей или взрослых). Наименее опасными методами медицинской визуализации воспринимаются маммография и флюорография, наиболее опасными — радионуклидные исследования и операции под контролем рентгеновского излучения, что, в целом, соответствует объективной картине (табл. 5).

Распределение ответов на вопросы о практике проведения РРИ

Таблица 4

Distribution of answers to questions about the practice of X-ray radiological examinations

Table 4

Варианты ответов [Answer options]	«Применялись ли средства индивидуальной защиты (защитные фартуки, экраны, пластины, очки ребенка?», % (n) ["Did the child use personal protective equipment (protective aprons, screens, plates, goggles)?", % (n)]	«Вы находились рядом с ребенком (подвергались воздействию радиации вместе)?», % (n) ["Were you close to the child (exposed to radiation together)?", % (n)]	Использовали ли Вы индивидуальные средства защиты?», % (n) [Did you use personal protective equipment?"] % (n)]	Были ли предложены врачом альтернативные (нерадиационные) методы диагностики?», % (n) [Were alternative (non-radiation) diagnostic methods suggested by the doctor?"] % (n)]
Да [Yes]	85,2 (69)	33,3 (27)	63,4 (45)	20,5 (16)
Нет [No]	3,7 (3)	59,3 (48)	31,0 (22)	62,8 (49)
Не знаю [Don't know]	11,1 (9)	7,4 (6)	5,6 (4)	16,7 (13)
Всего [Total]	100 (81)	100 (81)	100 (71)	100 (78)

⁹ Профессиональный стандарт «Рентгенолаборант». Утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 480н [Professional standard "X-ray technician". Approved by Order No. 480n of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of July 31, 2020. (In Russ.)]

¹⁰ Профессиональный стандарт «Врач-рентгенолог». Утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 160н [Professional standard "X-ray radiologist". Approved by Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of March 19, 2019 N 160n. (In Russ.)]

¹¹ Профессиональный стандарт «Медицинская сестра/медицинский брат». Утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 31 июля 2020 г. № 475н [Professional standard "Nurse/Medical Brother". Approved by Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of July 31, 2020 N 475n. (In Russ.)]

Таблица 5
Распределение ответов на вопрос об опасности различных видов рентгенорадиологических исследований, средние баллы

[Table 5]

Distribution of answers to the question about the dangers of various types of radiological examinations, mean scores

Варианты ответов [Answer options]	1 – наименее опасные % (n) [1 – least dangerous % (n)]	2 % (n) [2 % (n)]	3 % (n) [3 % (n)]	4 % (n) [4 % (n)]	5 – наиболее опасные % (n) [5 – most dangerous % (n)]	Не знаю, все равно [I don't know, I don't care]	Всего,% (n) [Total,% (n)]	Средний балл [Average score]	Категория риска согласно методическим рекомендациям ¹² [Risk category according to methodological guidelines]
КТ [СТ]	13,2 (16)	17,4 (21)	27,3 (33)	18,2 (15)	12,4 (15)	11,6 (14)	100 (121)	2,99	Низкий/ умеренный [Low/Moderate]
Маммография [Mammography]	29,2 (35)	18,3 (22)	20,8 (25)	8,3 (10)	3,3 (4)	20 (24)	100 (120)	2,23	Минимальный [Minimal]
Рентгенография [Radiography]	18 (22)	17,2 (21)	22,1 (27)	17,2 (21)	9,8 (12)	15,6 (19)	100 (122)	2,81	Минимальный [Minimal]
Рентгеноскопия [Radiography]	15,3 (18)	17,8 (21)	22 (26)	16,9 (20)	7,6 (9)	20,3 (24)	100 (118)	2,8	Низкий [Low]
ПЭТ [PET]	5 (6)	14,2 (17)	21,7 (26)	14,2 (17)	18,3 (22)	26,7 (32)	100 (120)	3,36	Низкий/ умеренный [Low/Moderate]
Радионуклидные исследования [Radionuclide examinations]	5,9 (7)	9,3 (11)	16,1 (19)	16,1 (19)	29,7 (35)	22,9 (27)	100 (118)	3,7	Низкий/ умеренный [Low/Moderate]
Операции под контролем рентгеновского излучения [X-ray controlled surgeries]	7,7 (9)	8,5 (10)	21,4 (25)	17,9 (21)	27,4 (32)	17,1 (20)	100 (117)	3,59	Низкий [Low]
Флюорография [Fluorography]	26 (32)	20,3 (25)	24,4 (30)	12,2 (15)	3,3 (4)	13,8 (17)	100 (123)	2,38	Минимальный [Minimal]

Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

У родителей и законных представителей детей, находящихся на стационарном лечении в учреждении, с которыми была проведена риск-коммуникация (хоть и в ограниченном объеме), оценки опасности медицинского облучения (без уточнения для детей или взрослых) несколько ниже, по сравнению с теми, кому такая информация не была предоставлена (рис. 5).

Следует отметить, что флюорография и рентгенография относятся к одной категории радиационного риска, при этом их субъективное восприятие значительно отличается. Маммография детям не выполняется. При пребывании в данной организации РРИ и операции под контролем не выполнялись, и данные оценки обусловлены проецированием риска на себя.

Следует отметить, что среди респондентов субъективное восприятие радиационных рисков РРИ соответствует объективным данным.

Респонденты придерживаются различных стратегий относительно РРИ. Среди респондентов 48,8% проходили их по собственной инициативе, в то время как 21,6% когда-либо отказывались от проведения РРИ себя или детей (табл. 6). Из них 10,4% респондентов в своей жизни как отказывались, так и проходили по своей инициативе РРИ. Респондентов, кто в своей жизни только отказывался от таких исследований, оказалось 11,2%.

Основными причинами отказов являются страх за свое здоровье или здоровье ребенка, а также недоверие к врачу (табл. 7).

¹² Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований» [Methodical Recommendation (MR) 2.6.1.0215-20 "Assessment of radiation risk of patients during radiological examinations". Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 21.09.2020]. (In Russ.)]

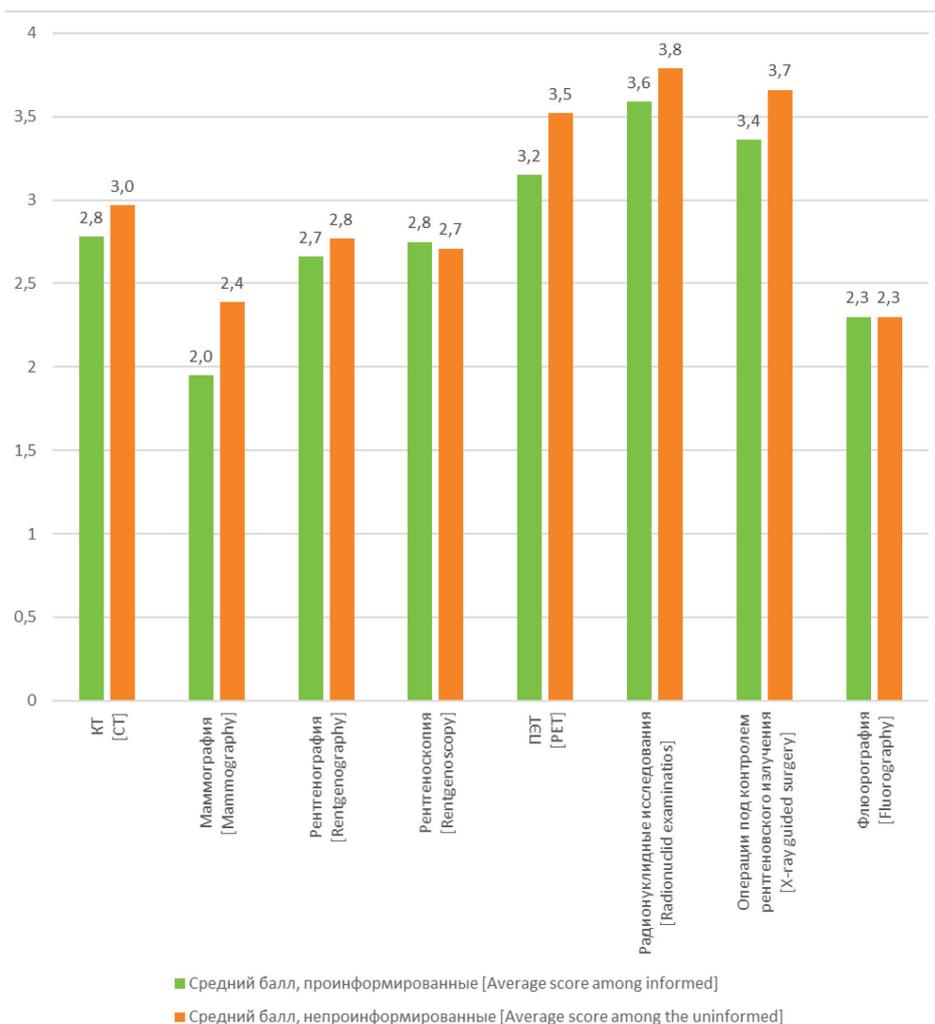


Рис. 5. Распределение средних баллов при ответе на вопрос об опасности различных видов РРИ среди тех респондентов, которым была предоставлена информация о рисках РРИ, и тех, кому такая информация не была предоставлена
[Fig. 5. Distribution of average scores in answering the question about the dangers of various types of radiological examinations among those respondents who were informed about the risks of radiological examinations and those who were not informed]

Таблица 6

Распределение ответов на вопрос: «Проходили ли Вы когда-либо РРИ (КТ, флюорография и т.п.) по собственной инициативе, без назначения лечащего врача?»

[Table 6

Distribution of answers to the question: “Have you ever had X-ray radiological examinations (CT, fluorography, etc.) on your own initiative, without a doctor’s prescription?”]

Варианты ответов [Answer options]	Распределение ответов на вопрос: «Проходили ли Вы когда-либо рентгенорадиологические исследования (КТ, флюорография и т.п.) по собственной инициативе, без назначения лечащего врача?» [Distribution of answers to the question: "Have you ever had X-ray radiological examinations (CT, fluorography, etc.) on your own initiative, without a doctor’s prescription?"]		Распределение ответов на вопрос: «Отказывались ли Вы когда-либо от проведения каких-либо рентгенологических исследований (КТ, флюорография и т.п.) (себя, детей) [Distribution of answers to the question: "Have you ever refused to have any radiological examinations (CT, fluorography, etc.) (yourself, children)]	
	%	N	%	N
Да [Yes]	48,8	61	21,6	27
Нет [No]	51,2	64	78,4	98
Всего [Total]	100,0	125	100,0	125

Таблица 7
Распределение ответов на вопрос: «Почему Вы отказывались от рентгенорадиологических исследований?»

[Table 7]

Distribution of answers to the question: “Why did you refuse radiology studies?”

Варианты ответов [Answer options]	%	N
Испытывала страх за свое здоровье [Fear for my health]	29	9
Испытывала страх за здоровье ребенка [Fears for the health of the child]	32,3	10
Испытывала страх за здоровье себя и ребенка в равной степени [Fears for the health of myself and my child equally]	19,4	6
Испытывала страх за здоровье будущих детей [Fears for the health of future children]	29	9
Испытывала страх за возможность иметь детей после облучения [Fear for the possibility of having children after the exposure]	25,8	8
Испытывала недоверие к врачу [Not trusting their doctor]	35,5	11
По медицинскому отводу [For medical reasons]	12,9	4
По финансовым причинам [For financial reasons]	22,6	7
Другое (укажите) [Other (please specify)]	12,9	4

Основными причинами прохождения РПИ без назначения врача были желание ускорить процесс диагностики, самоуспокоение (табл. 8.). Достоверных различий изучаемого показателя по социально-демографическим группам респондентов не обнаружено.

Таблица 8

Распределение ответов на вопрос: «Зачем Вы проходили РПИ без назначения врача?»

[Table 8]

Distribution of answers to the question: “Why did you undergo radiology examinations without a doctor’s prescription?”

Варианты ответов [Answer options]	%	N
Чтобы ускорить процесс диагностики и лечения (без очереди, в удобное время и т.д.) [To speed up the process of diagnosis and treatment (without waiting in line, at a convenient time, etc.)]	50	33
В связи с сомнением или несогласием с диагнозом лечащего врача [Due to doubts or disagreement with a doctor’s diagnosis]	15,2	10
В связи с рекомендациями авторитетных для меня источников [As a result of recommendations made by sources authoritative for me]	19,7	13
Для самоуспокоения, чтобы убедиться, что у меня нет болезней [For self-assurance to make sure that I do not have an illness]	39,4	26
Было выгодное рекламное предложение [There was a profitable promotional offer]	13,6	9

Связь между уровнем знаний в сфере радиационной безопасности и прохождением РПИ по собственной инициативе, равно как и отказами от подобных исследований, не прослеживается.

Связи между информированием в крупном детском инфекционном стационаре и отказом от прохождения РПИ не наблюдается. Выявлена связь между прохождением РПИ по собственной инициативе и информированием в учреждении: среди тех, кто проходил такие исследования по собственной инициативе, 68,4% проинформированных; среди тех, кто не проходил РПИ по собственной инициативе, – 45,5% (значение χ^2 – 4,367, 1 ст.св., p-value – 0,046).

Заключение

Отсутствие в нормативно-методических документах в Российской Федерации четкого порядка риск-коммуникации при медицинском облучении и четких указаний о том, как информировать пациента и его законных представителей о возможных последствиях исследования, является существенным недостатком системного подхода при обеспечении радиационной безопасности при медицинском облучении. Место самого процесса информирования пациента о последствиях облучения в цепочке диагностики и лечения также остается неопределенным. Наиболее логичным является предоставление лечащим врачом информации о рисках (возможных негативных последствиях) облучения пациента при направлении пациента на РПИ. На практике, как правило, лечащий врач риск-коммуникацией не занимается. Пациент приходит в кабинет/отделение лучевой диагностики либо без информации о предстоящей процедуре (с точки зрения радиационной безопасности), либо с информацией, почерпнутой из средств массовой информации.

Целесообразно постепенно переходить на диалоговый формат предоставления сведений – упор на беседу и человеческое общение между врачом и пациентом, т.е. риск-коммуникацию. Такой переход требует повышения компетенции лечащих врачей в сфере риск-коммуникации, что может быть достигнуто путём включения риск-коммуникации в образовательный процесс в медицинских вузах, разработки учебных и информационных материалов.

В отделениях лучевой диагностики сведения о последствиях проведения исследования можно включать в бланк добровольного информированного согласия на проведение исследования в соответствии с 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». При получении добровольного информированного согласия на текущий момент ключевыми вопросами являются установление факта беременности и наличие противопоказаний (аллергических реакций) к контрастным веществам. Соответственно, информирование пациента входит в обязанности врача-рентгенолога или рентгенлаборанта, проводящих исследование. Это указано в их обобщенных трудовых функциях, представленных в соответствующих профессиональных стандартах.

Полученные результаты исследования свидетельствуют об отсутствии значимых различий между подвыборками респондентов по всем исследованным параметрам, в частности, о восприятии радиационных рисков. Это свидетельствует о необходимости разработки методик

риск-коммуникации и информационных материалов, ориентированных на широкие слои населения, с представлением информации в доступной форме [7, 8, 23].

Как уже было отмечено выше, приоритетной является разработка информационных ресурсов в сети Интернет и их продвижение. Параллельно представляется целесообразным разрабатывать раздаточные информационные материалы (брошюры, листовки и т.д.) для пациентов и их законных представителей, а также плакаты и постеры для размещения их в медицинских организациях (с наличием в них QR-кодов со ссылками на информационные материалы в Интернете). Использование таких раздаточных материалов может быть интегрировано в процесс получения добровольного информированного согласия.

В ходе исследования выявлено, что:

– достоверных различий в восприятии радиационных рисков у родителей и законных представителей детей, находящихся на лечении в стационаре, с различными социально-демографическими характеристиками обнаружено не было;

– уровень знаний у родителей и законных представителей детей, находящихся на лечении в стационаре, не выявлен в качестве предиктора толерантного отношения к медицинским радиационным рискам;

– родители и законные представители детей, находящихся на лечении в стационаре, демонстрируют высокие показатели доверия лечащим врачам и медицине. Результаты исследования показывают, что те, кто был проинформирован о рисках, в целом, ниже оценивают степень опасности РПИ, чем те, кого о рисках не информировали.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Персональное участие авторов

А.М. Библин выполнил анализ литературных данных, подготовил черновик рукописи, оформил окончательный вариант рукописи для публикации в журнале.

А.А. Давыдов осуществил статистическую обработку данных, подготовил табличные данные.

А.В. Водоватов разработал дизайн исследования, принял участие в обсуждении промежуточного варианта рукописи

П.А. Стрельникова осуществляла сбор данных.

А.Н. Черных осуществляла сбор данных.

В.Г. Пузырев принял участие в разработке дизайна исследования, принял участие в обсуждении промежуточного варианта рукописи.

Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

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 определение // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 3. С. 83-91. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-83-91
3. Cho K.W., Cantone M.C., Kurihara-Saio C., Le Guen B., Martinez N., Oughton D. et al. ICRP publication 138: ethical foundations of the system of radiological protection // Annals of the ICRP. 2018. Vol. 47, №. 1. P. 1-65. DOI: 10.1177/0146645317746010
4. American college of radiology. Appropriateness Criteria for diagnostic procedures. URL: <https://acsearch.acr.org/list> [дата обращения 03.04.2022]
5. How to Understand and Communicate Radiation Risk. URL: <https://www.imagewisely.org/-/media/Image-Wisely/Files/CT/IW-Peck-Samei-Radiation-Risk.pdf> [дата обращения 05.04.2022]
6. World Health Organization. Communicating radiation risks in pediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. 2016. 94 p.
7. Broder J.S., Frush D.P. Content and style of radiation risk communication for pediatric patients // Journal of the American College of Radiology. 2014. Vol. 11, №. 3. P. 238-242. DOI: 10.1016/j.jacr.2013.10.003
8. Lam D.L., Larson D.B., Eisenberg J.B. Communicating potential radiation-induced cancer risks from medical imaging directly to patients // American Journal of Roentgenology. 2015. Vol. 205, №. 5. P. 962-970. DOI: 10.2214/AJR.15.15057
9. Lowe S. Diagnostic imaging in pregnancy: Making informed decisions // Obstet Med. 2019 Vol. 12, № 3. P. 116-22. DOI: 10.1177/1753495X19838658
10. Fagerlin A., Zikmund-Fisher B.J., Ubel P.A. Helping patients decide: ten steps to better risk communication // Journal of the National Cancer Institute. 2011. Vol. 103, №. 19. P. 1436-1443. DOI: 10.1093/jnci/djr318
11. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В., и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Том 1. Лучевая диагностика. Под ред. профессора М.И. Балонина. СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2019. Т. 1. 320 с.
12. Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М., и др. Проблемы риск-коммуникации: методические подходы к использованию социологических данных в планировании информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности // Радиационная гигиена. 2019. Т.12, № 3. С. 50-57. DOI:10.21514/1998-426X-2019-12-3-50-57
13. Зубкова Н.С., Копылов М.В., Горбачева О.И. Роль медицинской сестры в проведении флюорографического исследования пациентам // Молодежь и XXI век – 2020: Матер. 10-й Междунар. молодежн. науч. конф. Курск, 19–20 февраля 2020 года. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 362-364.
14. Сафронов В.В., Давыдов А.А., Водоватов А.В., и др. Оценка медицинских радиационных и нерадиационных рисков на примере пациентов, проходящих хирургическую смену пола с женского на мужской // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 99-113. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-99-113
15. Давыдов А.А., Библин А.М., Кононенко Д.В. Проблемы риск-коммуникации по вопросу облучения радоном: результаты всероссийского социологического исследования // Анализ риска здоровью. 2021. № 3. С. 29–41. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.03
16. Зыкова И.А., Архангельская Г.В., Звонова И.А. Чернобыль и социум: оценки риска. СПб.: МАПО – НИИРГ, 2001. 140 с.
17. Зыкова И.А., Зеленцова С.А., Архангельская Г.В. Информационные потребности населения в различных радиационно-гигиенических ситуациях // Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 4. С. 11-18.
18. Библин А.М., Архангельская Г.В., Зеленцова С.А., и др. Проблемы риск-коммуникации по вопросам радиационной безопасности: предпочтения населения Ленинградской и Мурманской областей в источниках получения информации // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 60-73. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-60-73

19. Архангельская Г.В., Зыкова И.А., Зеленцова С.А. Трудности информирования населения по вопросам радиационной безопасности // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 2. С. 42-49.
20. Фонд Общественное Мнение. Доверие врачам и учреждениям. 2014. URL: <https://fom.ru/Zdorove-i-sport/11765> [Дата обращения 03.05.2022]
21. Фонд Общественное Мнение. Доверие врачам. 2019. URL: <https://fom.ru/Zdorove-i-sport/14208> [Дата обращения 03.05.2022]
22. Всероссийский Центр изучения общественного мнения. Врач в России: доверие пациентов, доходы, положение в обществе. 2017. URL: <https://old.wciom.ru/index.php?id=236&uid=3590> [Дата обращения 03.05.2022]
23. Архангельская Г.В., Зеленцова С.А. Пути оптимизации риск-коммуникации специалистов по радиационной безопасности и населения: рекомендации по языку общения // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 72-77. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-72-7.

Поступила: 05.05.2022 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-аналитический центр, 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

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

Стрельникова Полина Александровна – студентка, 6 курс факультет «Лечебное дело», Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Черных Алена Николаевна – студентка, 6 курс факультет «Лечебное дело», Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Пузырев Виктор Геннадьевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Библин А.М., Давыдов А.А., Водоватов А.В., Стрельникова П.А., Черных А.Н., Пузырев В.Г. Оценка восприятия радиационного риска родителями и законными представителями детей, проходящих рентгенорадиологические исследования // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 63-77. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-63-77

Radiation risk perception among parents and legal representatives of children undergoing radiological examinations

Artem M. Biblin¹, Artem A. Davydov¹, Aleksandr V. Vodovатов^{1,2}, Polina A. Strelnikova², Alena N. Chernykh², Viktor G. Puzirev²

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

Risk communication is one of the stages of health risk analysis and is an interactive process of exchange of information and opinions about risks, including medical risks, between risk assessment specialists, decision makers, the media, stakeholder groups and the public. In organizing interaction with stakeholders in the risk communication process, sociological research helps to explore the attitudes of the actors. One of risk com-

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

munication situations in the field of radiation protection is information provision to patients and their legal representatives about radiation health risks due to the medical radiology examinations. The aim of this study was to assess the radiation risk perception among parents and legal representatives of children undergoing radiological examinations. Parents and legal representatives of children undergoing hospital treatment from November 2021 to March 2022 were interviewed in a large pediatric infectious diseases hospital. A questionnaire designed at St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene was used for the interviews. In total, 125 people were interviewed. The study showed that there were no significant differences in the perception of radiation risks among parents and legal representatives of children undergoing inpatient treatment with different socio-demographic characteristics. The level of knowledge was not identified as a factor shaping a tolerant attitude toward medical radiation risks. Parents and legal representatives of children undergoing hospital treatment show high rates of trust in the attending physicians and medicine in general. The study results show that those who have been informed about the risks generally have lower risk perception for radiological medical examinations than those who have not been informed about the risks.

Key words: risk communication, risk perception, medical exposure, patients, ionizing radiation.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Personal participation of the authors

A.M. Biblin performed analysis of the literature data, prepared the draft of the manuscript, and finalized the manuscript for publication in the Journal.

A.A. Davydov performed statistical data analysis and prepared tabulated data.

A.V. Vodovatov developed the study design and participated in the discussion of the interim manuscript

P.A. Strelnikova performed data collection.

A.N. Chernykh performed data collection.

V.G. Puzyrev contributed to the study design and participated in the discussion of the interim manuscript.

Sources of Funding

The study was not supported by sponsors.

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) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-83-91>
3. Cho KW, Cantone MC, Kurihara-Saio C, Le Guen B, Martinez N, Oughton D, et al. ICRP publication 138: ethical foundations of the system of radiological protection. *Annals of the ICRP*. 2018.47(1): 1-65. DOI: 10.1177/0146645317746010
4. American college of radiology. Appropriateness Criteria for diagnostic procedures. Available from: <https://acsearch.acr.org/list> [Accessed: 03.04.2022]
5. How to Understand and Communicate Radiation Risk. Available from: <https://www.imagewisely.org/-/media/Image-Wisely/Files/CT/IW-Peck-Samei-Radiation-Risk.pdf> [Accessed: 05.04.2022]
6. World Health Organization. Communicating radiation risks in pediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. 2016. 94 p.
7. Broder JS, Frush DP. Content and style of radiation risk communication for pediatric patients. *Journal of the American College of Radiology*. 2014.11(3): 238-242. DOI: 10.1016/j.jacr.2013.10.003
8. Lam DL, Larson DB, Eisenberg JB. Communicating potential radiation-induced cancer risks from medical imaging directly to patients. *American Journal of Roentgenology*. 2015.205(5): 962-970. DOI: 10.2214/AJR.15.15057
9. Lowe S. Diagnostic imaging in pregnancy: Making informed decisions. *Obstet Med*. 2019;12(3): 116-22. DOI: 10.1177/1753495X19838658
10. Fagerlin A, Zikmund-Fisher BJ, Ubel PA. Helping patients decide: ten steps to better risk communication. *Journal of the National Cancer Institute*. 2011.103(19): 1436-1443. DOI: 10.1093/jnci/djr318
11. Balonov MI, Golikov VYu, Vodovatov AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Kalnitsky SA, et al. Scientific bases of radiation protection in modern medicine. Volume 1. Radiation diagnostics. Edited by Balonov MI. Saint-Petersburg: Institute of Radiation Hygiene; 2019. Vol. 1. 320 p. (In Russian)
12. Repin LV, Biblin AM, Vishnyakova NM, Sokolov NV, Davydov AA. Problems of risk communication: methodological approaches to the use of sociological data in planning of information work with the population on radiation safety issues. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(3): 50-57. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-50-57
13. Zubkova NS, Kopylovich MV, Gorbacheva OI. The role of a nurse in conducting fluorographic examination of patients. Youth and XXI century 2020. Proceedings of conference, Kursk, 19-20 February, 2020. P. 362-364. (In Russian)
14. Safronov VV, Davydov AA, Vodovatov AV, Startseva OI, Biblin AM, Repin LV. Assessment of the medical radiation and non-radiation risks for the patients undergoing the surgical gender reassignment from female to male. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 99-113. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-99-113
15. Davydov AA, Biblin AM, Kononenko DV. Radon risk communication issues: results of the all-russian public opinion survey. *Health Risk Analysis*. 2021;3: 29-41. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.03.eng
16. Zykova IA, Arkhangelskaya GV, Zvonova IA. Chernobyl and society: risk assessment. SPb: MAPO-NIIRG; 2001. 140 p. (In Russian)
17. Zykova IA, Zelentsova SA, Arkhangelskaya GV. Information requirements of population in different radiation-hygienic situations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2013;6(4): 11-18. (In Russian).
18. Biblin AM, Arkhangelskaya GA, Zelentsova SA, Khramtsov EV, Akhmatdinov RR, Sokolov NV, et al. Risk-communication issues in radiation safety: preferences of the public in the Leningrad and Murmansk regions on the sources of information. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 60-73. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-60-73
19. Arkhagelskaya GV, Zykova IA, Zelentsova SA. The difficulties of informing the population on the issues of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(2): 42-49. (In Russian)

20. Public Opinion Foundation. Trust in doctors and medical institutions. 2014. Available from: <https://fom.ru/Zdorove-i-sport/11765> [Accessed 03.05.2022]. (In Russian)
21. Public Opinion Foundation. Trust in doctors. 2019. Available from: <https://fom.ru/Zdorove-i-sport/14208> [Accessed 03.05.2022]. (In Russian)
22. All-Russian Center for the Study of Public Opinion. Physician in Russia: trust of patients, income, position in society. 2017. Available from: <https://old.wciom.ru/index.php?id=236&uid=3590> [Accessed 03.05.2022] (In Russian)
23. Arkhagelskaya GV, Zelentsova SA. Ways to optimize the risk communication between specialists on radiation safety and population: recommendations on communication language. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4): 72-77. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-72-77.

Received: May 05, 2022

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 (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

Aleksandr V. Vodovатов – Head of Medical Protection Laboratory, Leading Researcher, 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

Polina A. Strelnikova – 6th year student, Faculty of the General Medicine, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Alyona N. Chernykh – 6th year student, Faculty of the General Medicine, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Viktor G. Puzyrev – MD, Ph.D., Assistant Professor, the Head of the Department of General Hygiene, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Biblin A.M., Davydov A.A., Vodovатов A.V., Strelnikova P.A., Chernykh A.N., Puzyrev V.G. Radiation risk perception among parents and legal representatives of children undergoing radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 63-77 (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-63-77

Отношение населения Северо–Западного региона к вопросам радиационной безопасности

Г.В. Архангельская, С.А. Зеленцова, А.М. Библин, А.А. Давыдов

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

Статья посвящена анализу результатов социологического опроса населения трех областей Северо-Западного региона (Ленинградской, Мурманской, Архангельской) в 2016–2018 гг. по вопросам знания населения о радиации и об источниках получения знаний в связи с дальнейшим развитием ядерной энергетики, строительством хранилищ радиоактивных отходов, а также все более широким использованием источников ионизирующего излучения в медицине и промышленности. Цель исследования состояла в том, чтобы изучить, как степень доверия к тем или иным источникам информации, предпочтительным путям получения информации зависит от пола, возраста и уровня образования респондентов. Обобщение таких материалов позволяет оптимизировать средства и способы улучшения знаний населения по вопросам радиационной безопасности с тем, чтобы население могло адекватно (без паники) относиться к сообщениям, касающимся развития ядерной энергетики, строительства хранилищ радиоактивных отходов, а также все более широкого использования источников ионизирующего излучения в медицине и промышленности. Проведенное исследование выявило, что вне зависимости от пола, возраста и образования респонденты всех 3 исследованных территорий хотят получать сведения о радиационной обстановке только в случае чрезвычайной ситуации. Достаточно высокий процент населения, особенно в Ленинградской и Мурманской областях, бесосновательно характеризуют уровень радиоактивного загрязнения мест проживания как сильное, опасное и чрезвычайно опасное, что может свидетельствовать о слабом уровне знаний по вопросам радиационной безопасности. Возраст и образование при этом практически не оказывают значимого влияния на эту оценку. В качестве наиболее популярных источников информации о радиационной обстановке респонденты рассматривают ТВ и Интернет. При этом закономерно, что лица старшего возраста предпочитают получать информацию через традиционные СМИ, молодого — через Интернет.

Ключевые слова: население, Северо-Западный регион, радиационная безопасность, восприятие риска, средства массовой информации.

Введение

Знания и представления населения о радиации как о вредном и опасном для здоровья факторе в значительной мере сложились после аварии на Чернобыльской АЭС [1–9].

Авария стала для большинства жителей полной неожиданностью, поскольку средства массовой информации преподносили атомную энергетику как практически безопасную. Население было не подготовлено к восприятию данной ситуации, а отсутствие знаний в области радиационной безопасности, секретность сведений об аварии породили радиотревожность, особенно в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

В Санкт-Петербургском научно-исследовательском институте радиационной гигиены и других научных учреждениях, особенно после аварии на Чернобыльской АЭС, был выполнен ряд исследований, относящихся к этой проблеме [9–22], в частности, исследования уровня знаний по

вопросам радиационной безопасности, степени доверия к тем или иным источникам информации, предпочтительным путям получения информации и др. [12,13,17–23]. Исследованиями были охвачены различные аспекты радиационного характера, вызывавшие общественный резонанс и пристальное внимание средств массовой информации: мирные ядерные взрывы, авария на Чернобыльской АЭС, авария на АЭС «Фукусима-1» в Японии и др.

Исследования выявили несколько причин, которые влияют на эффективность и успешность формирования адекватного восприятия населением радиационного риска, наряду с другими факторами, оказывающими или могущими оказывать негативное влияние на здоровье: превалирование негативных суждений о возможном влиянии радиации в средствах массовой информации, отсутствие или подача знаний о влиянии ионизирующих излучений на здоровье человека.

Зеленцова Светлана Александровна

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: sveta_zelentsova@mail.ru

Как правило, интерес населения к вопросам радиационной безопасности возникает после радиационного происшествия или при планировании строительства радиационных объектов. Формирование собственных представлений о радиационном факторе может происходить по двум основным каналам: через средства массовой информации (СМИ) и Интернет.

В обычной повседневной жизни, когда нет повода для беспокойства, на первый план в информационной работе с населением выходит получение необходимых знаний и пробуждение интереса к необходимости получать такие знания. Выдвинута гипотеза, что предпочтения в способах получения знаний о состоянии радиационной обстановки в регионе, видах и источниках ионизирующих излучений могут зависеть от пола, возраста, уровня образования.

Цель исследования – выяснение различий в оценке отношения населения Северо-Западного региона к вопросам радиационной безопасности в зависимости от пола, возраста и уровня образования.

Материалы и методы

Объектом исследования было взрослое (18 лет и старше) население, постоянно проживающее на территории Ленинградской, Мурманской, Архангельской областей. Использован метод массового опроса по месту жительства с применением методики очного стандартизированного интервью с предъявлением респонденту стимульных материалов (карточек с перечнями вариантов ответа). Выборочная совокупность многоуровневая, обеспечивающая представительство основных территориальных сегментов региона. Отбор респондентов проводился по маршрутной методике с контролем наполнения демографических квот. Всего опрошено в Ленинградской области – 1363 респондента, в Мурманской – 802, в Архангельской – 803 респондента. Опрос в Ленинградской области был проведен в 2016 г., в Мурманской – в 2017 г., в Архангельской – в 2018 г. Анализ показал достаточный для достижения исследования уровень репрезентативности полученных выборок по основным социально-демографическим параметрам.

Для оптимизации взаимодействия специалистов с населением рассматривалось влияние таких характеристик, как пол, возраст и образование респондентов на изучаемые факторы.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием z-распределения:

$$z = \frac{(\hat{p}1 - \hat{p}2) - (p1 - p2)}{\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n_1} + \frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n_2}}}$$

где $\hat{p}1$ и $\hat{p}2$ – доли «успешных ответов» в каждой выборке;

\hat{p} – общая доля «успешных ответов» в каждой выборке;

$p1$ и $p2$ – генеральные доли признака;

n_1 и n_2 – объемы выборок;

$\hat{p}1$ и $\hat{p}2$ вычисляются по формулам:

$$\hat{p}1 = \frac{m_1}{n_1} \text{ и } \hat{p}2 = \frac{m_2}{n_2}$$

где m_1 и m_2 – число «успешных ответов» в каждой выборке;

n_1 и n_2 – объемы выборок;

\hat{p} вычисляется по формуле:

$$\hat{p} = \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2}$$

где m_1 и m_2 – число «успешных ответов» в каждой выборке;

n_1 и n_2 – объемы выборок.

Вычисление значения p происходит по таблице z-распределения. В случае если p принимало значение менее 0,05, нулевая гипотеза (об отсутствии связи между переменными) отвергалась.

Оценка интереса к сведениям о радиационной обстановке в регионе и месте проживания

Во всех исследованных регионах приблизительно одинаковая доля респондентов «хочет получать информацию регулярно, как прогноз погоды», и такая же часть респондентов совершенно не заинтересована в данной информации (табл. 1). Большинство респондентов предпочитают

Таблица 1

Интерес населения к сведениям о радиационной обстановке в регионе и месте проживания, %

[Table 1

Public interest in information about the radiation situation in the region and place of residence, %]

Необходимость получения информации [Need for information]	Область [Region]		
	Ленинградская [Leningrad]	Мурманская [Murmansk]	Архангельская [Arkhangelsk]
Да, хочу получать ее регулярно, как прогноз погоды [Yes, I want to get it regularly, like a weather forecast]	14,4	10,3	19,4
Да, хорошо, если можно при необходимости ее посмотреть [Yes, it's good if you can watch it if necessary]	30,8	26,4	41,0
Сейчас нет – это нужно только в чрезвычайной ситуации [Not at the moment – it is only needed in emergency]	32,2	37,8	12,5
Мне это совсем не интересно [I'm not interested at all]	14,4	13,7	21,8
Трудно сказать, не думал об этом [It's hard to say, I hadn't thought about it]	8,1	11,7	5,4
Всего [Total]	100,0	100,0	100,0

иметь возможность получать такую информацию при необходимости, особенно в чрезвычайной ситуации.

Анализ результатов анкетированного опроса, касающегося интереса к сведениям о радиационной обстановке в регионе и месте проживания, показал, что вне зависимости от уровня образования преобладающая доля населения предпочитает получать информацию при возникновении необходимости во всех исследованных регионах (табл. 2).

Респонденты мужского пола чаще, чем женского, отвечали, что данная информация им совсем не интересна: в Ленинградской области – 18,1% среди мужчин против 11,2% среди женщин (z -score = 3,07, p -value < 0,01), в Мурманской области – 18,7% среди мужчин против 9,9% среди женщин (z -score = 3,61, p -value < 0,001), в Мурманской области – 25,4% среди мужчин против 18,9% среди женщин (z -score = 2,23, p -value = 0,03). Ответ «Трудно сказать» несколько чаще давали респонденты женского пола Ленинградской области: 5,1% среди мужчин против 10,8% среди женщин (z -score = -3,32, p -value < 0,001).

Результаты исследования показывают, что возраст и образование не влияют на интерес к сведениям о радиационной обстановке в регионе. Мужчины реже интересуются информацией о радиационной обстановке, а женщинам сложнее определиться с мнением по этому поводу.

При проведении анкетированного опроса во всех исследованных регионах респондентам предлагалось оценить степень радиоактивного загрязнения мест их проживания.

Респонденты в Ленинградской области чаще оценивают степень загрязнения мест проживания как «сильное, опасное», чем респонденты других обследованных регионов. Отличие оценки респондентов в Ленинградской области статистически значимо с оценкой в других областях (z -score = 9,98, p -value < 0,00001 – сравнение долей ответов респондентов Ленинградской области и Мурманской областей; z -score = 13,24, p -value < 0,00001 – сравнение долей ответов респондентов Ленинградской области и Архангельской областей) (табл. 3).

Ответы респондентов мужского и женского пола на вопрос о степени загрязнения места проживания значи-

Таблица 2

Интерес населения к сведениям о радиационной обстановке в регионе и месте проживания в зависимости от образования, %

[Table 2

Public interest in information about the radiation situation in the region and place of residence depending on education level, %]

Потребность в получении информации [Need for information]	Область [Region]					
	Ленинградская [Leningrad]		Мурманская [Murmansk]		Архангельская [Arkhangelsk]	
	Высшее [Higher education]	Без высшего [Without higher education]	Высшее [Higher education]	Без высшего [Without higher education]	Высшее [Higher education]	Без высшего [Without higher education]
Да, хочу получать ее регулярно, как прогноз погоды [Yes, I want to get it regularly, like a weather forecast]	18,5	13,0	12,8	9,2	23,2	18,3
Да, хорошо, если можно при необходимости и в случае чрезвычайной ситуации [Not at the moment – it is only needed in emergency]	63,3	62,9	66,4	63,2	59,0	51,0
Мне это совсем не интересно [I'm not interested at all]	9,6	16,2	10,0	15,4	15,1	23,8
Трудно сказать, не думал об этом [It's hard to say, I hadn't thought about it]	8,5	8,0	10,8	12,1	2,7	6,1

Таблица 3

Оценка представлений населения о степени радиоактивного загрязнения места проживания, %

[Table 3

Assessment of public beliefs about the degree of radioactive contamination of the place of residence, %]

Степень загрязнения [Degree of contamination]	Область [Region]		
	Ленинградская [Leningrad]	Мурманская [Murmansk]	Архангельская [Arkhangelsk]
Нет или умеренное загрязнение [No or moderate contamination]	48,3	67,9	72,9
Сильное опасное и чрезвычайно опасное загрязнение [Severely hazardous and extremely dangerous contamination]	32,9	13,5	7,8

Степень загрязнения [Degree of contamination]	Область [Region]		
	Ленинградская [Leningrad]	Мурманская [Murmansk]	Архангельская [Arkhangelsk]
Затрудняюсь оценить [It's hard to assess]	18,7	18,5	19,3
Всего [Total]	100,0	100,0	100,0

тельно не отличаются. В Ленинградской и Мурманской областях доля респондентов мужского пола, указавших варианты «Нет» или «Умеренное загрязнение» несколько больше, чем доля респондентов женского пола, указавших те же варианты, различия статистически значимы (z-score = 2,11, p-value = 0,04 и z-score = 2,32, p-value = 0,02). Возраст и уровень образования респондентов во всех исследованных областях практически не повлияли на оценку степени радиоактивного загрязнения мест проживания опрошенных лиц.

Таким образом, представления населения о радиационной обстановке в месте проживания не зависят от пола, возраста и уровня образования различных групп населения.

Доверие к источникам информации

Результаты, характеризующие степень доверия к различным источникам информации о радиационной обстановке, представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 следует, что респонденты всех рассматриваемых регионов доверяют в первую очередь

Таблица 4

Доверие респондентов к источникам информации о радиационной обстановке и безопасности в области проживания, %
[Table 4
Trust of respondents in sources of information about the radiation situation and safety in the area of residence, %]

Источники информации [Information sources]	Скорее доверяют и полностью доверяют [Rather trust and fully trust]		
	Ленинградская [Leningrad]	Мурманская [Murmansk]	Архангельская [Arkhangelsk]
Представители федеральной власти [Representatives of the federal government]	33,7	38,7	13,0
Представители местной власти [Representatives of local authorities]	29,9	34,8	8,8
Министерство чрезвычайных ситуаций [Ministry of Emergency Situations]	75,1	71,1	44,1
Администрация объектов атомной отрасли [Administration of nuclear industry facilities]	37,4	50,2	1,9
Органы Роспотребнадзора [Rospotrebnadzor]	42,1	38,3	8,6
Органы Росгидромета [Roshydromet]	36,6	35,4	4,1
Ученые, специалисты [Scientists, experts]	69,6	58,7	11,8
Общественные объединения [Public Organizations]	37,0	21,9	2,7
Телевидение [Television]	30,4	24,4	19,2
Радио [Radio]	27,9	23,4	4,4
Печатные СМИ [Newspapers, magazines]	25,5	22,3	7,8
Информация в Интернете [Internet]	28,2	19,1	5,1
Информация от знакомых [Information from friends]	39,2	22,4	2,9

Министерству чрезвычайных ситуаций, затем – ученым и специалистам. Традиционные СМИ (ТВ, радио, газеты) вызывают доверие у одной трети респондентов. Пол, возраст и образование мало влияют на уровень доверия к изучаемым источникам, поэтому эти данные не приводятся.

Ожидаемо сети Интернет больше доверяют молодые группы населения: так, среди респондентов 18–29 лет в Ленинградской области доля доверяющих составляет 38,8%, а среди респондентов 60 лет и старше – 14,1% (z-score = 5,87, p-value < 0,00001). Среди респондентов 18–29 лет в Мурманской области информации в сети Интернет доверяют 23,2%, в то время как среди респондентов 50–59 лет доля доверяющих составляет всего 11,8% (z-score = 2,76, p-value < 0,001).

В Ленинградской области отмечено, что среди мужчин доля доверяющих информации в сети Интернет составляет 31,4%, среди женщин – 25,4% (z-score = 2,11, p-value < 0,04). В остальных исследованных областях взаимосвязи

между полом и доверием респондентов к источникам информации о радиационной обстановке и безопасности обнаружено не было.

Предпочтительные источники информации о радиационной обстановке

Респонденты всех областей чаще всего в качестве источника информации о радиационной обстановке выбирают телевидение (табл. 5).

Интернет в качестве источника информации о радиационной обстановке чаще выбирали респонденты Архангельской области. Заметен интерес респондентов в Архангельской и Мурманской областях к СМС-оповещению о радиационной обстановке в регионе проживания. Таким образом, респонденты чаще предпочитают ТВ, а затем – Интернет и СМС-оповещение.

Респонденты женского пола в Ленинградской и Мурманской областях несколько чаще респондентов мужского пола выбирают в качестве информационно-

Таблица 5

Предпочтительные информационные источники о радиационной обстановке в регионе или населенном пункте, %*

[Table 5

Preferred information sources about the radiation situation in the region or locality, %]

Источники информации [Information sources]	Область [Region]		
	Ленинградская [Leningrad]	Мурманская [Murmansk]	Архангельская [Arkhangelsk]
ТВ – региональные новости на федеральных каналах [TV – regional news on federal channels]	16,7	16,5	24,7
ТВ – региональный канал [TV – regional channel]	16,0	14,7	21,2
Местное, кабельное ТВ [Local, cable TV.]	4,47	10,8	21,0
Газеты региональные [Regional newspapers]	2,91	5,2	6,6
Газеты районные [District newspapers]	5,1	5,2	6,5
FM Радио [FM Radio]	3,4	5,2	5,4
Радиотрансляционная сеть [Radio Broadcasting Network]	4,6	5,2	2,9
Интернет [Internet]	17,15	13,6	24,4
Лекции специалистов [Experts' lectures]	1,35	6,1	1,4
Памятки, плакаты [Leaflets, posters]	1,9	2,9	1,9
Брошюры [Brochures]	1,9	2,4	1,1
СМС-оповещение [SMS alert]	9,7	14,6	24,2
Другие [Others]	0,9	0,4	0
Трудно сказать, не знаю [Hard to say, don't know]	1,7	0	0,5
Совсем не заинтересован в такой информации [Not interested in this information at all]	0,8	0,1	0,2

*Респондентам можно было выбрать 2–3 источника [Respondents could choose 2–3 sources]

го источника о радиационной обстановке ТВ-каналы: в Ленинградской области: 28,4% среди мужчин и 38,7% среди женщин предпочитают региональные новости на федеральных телеканалах в качестве источника информации о радиационной обстановке, z -score = -2,33, p -value = 0,02, в Мурманской – 37% среди мужчин и 49,2% среди женщин, z -score = -2,03, p -value = 0,04.

Исследования показали, что ТВ в качестве источника информации предпочитают респонденты старшего возраста (50 лет и старше), а Интернет – респонденты молодого возраста (18–39 лет). Например, в Ленинградской области среди респондентов старше 60 лет 46,2% предпочитают региональные новости на федеральных телеканалах в качестве источника информации. Среди респондентов 18–29 лет таковых всего 26% (z -score = 3,05, p -value = 0,002). Сеть Интернет предпочитают 9,4% респондентов старше 60 лет и 56,7% респондентов 18–29 лет (z -score = -7,3, p -value < 0,00001).

Отмечено, что респонденты в возрасте старше 60 лет реже рассматривают СМС-оповещение в качестве источника для получения информации, чем респонденты других возрастов. В Мурманской области среди респондентов старше 60 лет 27,5% предпочитают СМС-оповещение, а среди респондентов 18–29 лет – 49,3% (z -score = -2,4, p -value = 0,02).

Респонденты без высшего образования выбирают ТВ как источник информации о радиационной обстановке чаще, чем респонденты с высшим образованием. В Ленинградской области среди респондентов без высшего образования 37,3% как источник информации о радиационной обстановке предпочитают региональные телеканалы, в то время как среди респондентов с высшим образованием таковых всего 22,8% (z -score = 3,11, p -value = 0,002). Интернет как источник информации чаще выбирают респонденты с высшим образованием. В Ленинградской области 44,3% респондентов с высшим образованием предпочитают Интернет, среди респондентов без высшего образования таких 30,7% (z -score = -2,87, p -value = 0,004).

Заключение

Вне зависимости от пола, возраста и образования респонденты всех трех исследованных областей хотят получать сведения о радиационной обстановке только в случае чрезвычайной ситуации. В качестве наиболее популярных источников информации о радиационной обстановке респонденты рассматривают ТВ (особенно респонденты женского пола) и Интернет. При этом закономерно лица старшего возраста предпочитают получать информацию через традиционные СМИ, молодого – через Интернет.

Проведенное исследование выявило достаточно высокий процент населения, особенно в Ленинградской и Мурманской областях, бесосновательно характеризующего уровень радиоактивного загрязнения мест проживания как сильный, опасный и чрезвычайно опасный, что может свидетельствовать о слабом уровне знаний по вопросам радиационной безопасности. Возраст и образование при этом практически не оказывают значимого влияния на эту оценку.

Анализ результатов исследований демонстрирует целесообразность привлечения специалистов в облас-

ти радиационной гигиены и радиационной безопасности Северо-Западного региона к риск-коммуникации с населением. Приоритетными путями распространения информации при этом являются традиционные СМИ и Интернет.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Персональное участие авторов

Г.В. Архангельская определила направление исследования, представила описание результатов исследования, подготовила промежуточный вариант рукописи.

С.А. Зеленцова выполнила обзор литературных данных по проблеме информирования населения по вопросам радиационной безопасности, подготовила табличные данные.

А.М. Библин подготовил окончательный вариант рукописи.

А.А. Давыдов осуществил статистическую обработку результатов социологического исследования.

Благодарность

Авторы благодарны за помощь в проведении анкетированного социологического опроса специалистам Санкт-Петербургского государственного университета в рамках совместного выполнения контракта.

Источники финансирования

Финансирование работы осуществлялось по государственному контракту от 20 марта 2017 г. № Н.4д.241.20.17.1026 с Росатомом.

Литература

1. Воронов С.И., Лутошкин А.В., Попова А.Ю., и др. Российский национальный доклад. 30 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986-2016. Под общ. ред. В.А. Пучкова и Л.А. Большова. МЧС России, 2016. 202 с.
2. 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.
3. 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.
4. Мирный С. Чернобыль как инфотравма // Травма: пункты: сб. статей. М.: Новое литературное обозрение, 2009. С. 209–246
5. Abalkina I., Melikhova E., Savkin M. Communicating radiation risks to the residents of the Chernobyl-affected areas in Russia: key lessons learned // Annals of the ICRP. 2021. Vol. 50, №. 1 suppl. P. 209-216. DOI: 10.1177/01466453211010917
6. Havenaar J.M., de Wilde E.J., van den Bout J., Drottz-Sj berg B.M., van den Brink W. Perception of risk and subjective health among victims of the Chernobyl disaster // Social science & medicine. 2003. Vol. 56, №. 3. P. 569-572. DOI: 10.1016/s0277-9536(02)00062-x
7. Библин А.М., Давыдов А.А., Вишнякова Н.М., и др. Анализ влияния особенностей радиационных аварий на кризисную риск-коммуникацию // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, №. 2. С. 27-38. DOI:org/10.21514/1998-426X-2021-14-2-27-38
8. Tomkiv Y., Perko T., Oughton D.H., et al. How did media present the radiation risks after the Fukushima accident:

- a content analysis of newspapers in Europe // Journal of Radiological Protection. 2016. Vol. 36, №. 2. P. 64-81. DOI: 10.1088/0952-4746/36/2/S64
9. 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.
 10. Библин А.М., Архангельская Г.В., Зеленцова С.А., и др. Проблемы риск-коммуникации по вопросам радиационной безопасности: предпочтения населения Ленинградской и Мурманской областей в источниках получения информации // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 60-73. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-60-73
 11. Авария на АЭС «Фукусима-1»: организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации. Под ред. акад. РАМН Г.Г. Онищенко. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012. 336 с.
 12. Авария на АЭС «Фукусима-1»: радиологические последствия и уроки / под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2021. 388 с.
 13. Архангельская Г.В., Зеленцова С.А., Зыкова И.А., и др. Проблемы информирования населения о последствиях мирных ядерных взрывов // Радиационная гигиена. 2015. Т. 4, №. 1. С. 20-26.
 14. Архангельская Г.В., Вайнберг А.Л., Губернаторова В.В., и др. Субъективные оценки радиационного риска на территориях, прилегающих к местам проведения мирных ядерных взрывов // Радиационная гигиена. 2017. Т. 2., №. 2. С. 34-39.
 15. Зеленцова С.А., Архангельская Г.В., Зыкова И.А. Общественное мнение о мирных ядерных взрывах в Пермском крае // Радиационная гигиена. 2016. Т. 3, №. 1. С. 5-9.
 16. Архангельская Г.В., Васильева Т.А., Зеленцова С.А., и др. Мнение местных жителей о последствиях мирных ядерных взрывов, проведенных на территории республики Саха (Якутия) // Радиационная гигиена. 2015. Т. 3, №. 4. С. 15-21.
 17. Соколов Н.В., Библин А.М., Репин Л.В., и др. Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности: представление о радиации и атомной отрасли в массовом сознании по результатам социологических исследований в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Мурманской областях // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, №. 3. С. 45-56. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-45-56
 18. Библин А.М. Общественное мнение по вопросам радиационной безопасности в Архангельской области. Актуальные вопросы радиационной гигиены. Матер. междунар. науч.-практ. конф., 2018. С. 55-57.
 19. Архангельская Г.В., Зыкова И.А., Вишнякова Н.М. Социально-психологические аспекты защиты населения. Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой / Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Том 1. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2016. Т. 1. С. 352-388.
 20. Зыкова И.А. Архангельская Г.В. Радиотревожность населения и меры по ее снижению // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 4. С. 65-72.
 21. Архангельская Г.В., Зыкова И.А., Зеленцова С.А. Трудности информирования населения по вопросам радиационной безопасности // Радиационная гигиена. 2015. Т. 7, №. 2. С. 42-49.
 22. Зеленцова С.А., Архангельская Г.В., Храмцов Е.В. Пути оптимизации коммуникационной деятельности по вопросам радиационной безопасности с учетом информационных потребностей населения. Современные проблемы радиационной медицины: от науки к практике. Матер. междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. доктора мед. наук, доц. А.В. Рожко. Гомель, ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», 26-27 апреля 2018 г., 2018. С. 57-58.
 23. Архангельская Г.В., Зыкова И.А., Зеленцова С.А. Трудности информирования населения по вопросам радиационной безопасности // Радиационная гигиена. 2015. Т. 7, №. 2. С. 42-49.

Поступила: 16.05.2022 г.

Архангельская Генриэтта Владимировна – главный научный сотрудник лаборатории экологии, 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

Зеленцова Светлана Александровна – младший научный сотрудник лаборатории экологии, 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, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sveta_zelentsova@mail.ru

Библин Артем Михайлович – руководитель Информационно-аналитического центра, старший научный сотрудник, 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

Давыдов Артем Анатольевич – младший научный сотрудник, Информационно-аналитический центр, 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

Для цитирования: Архангельская Г.В., Зеленцова С.А., Библин А.М., Давыдов А.А. Отношение населения Северо-Западного региона к вопросам радиационной безопасности // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 78-86. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-78-86

Attitudes of the population of the Northwest region towards radiation safety issues

Genrietta V. Arkhangelskaya, Svetlana A. Zelentsova, Artem M. Biblin, Artem A. Davydov

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 article presents the results of a sociological survey of the population of three regions of the Northwest region of the Russian Federation: the Leningrad, Murmansk, and Arkhangelsk regions. The survey was conducted in 2016-2018 and investigated the population's knowledge about radiation and sources of knowledge in view of the further development of nuclear power, the construction of radioactive waste storage facilities, and the increasingly widespread use of ionizing radiation sources in medicine and industry. The aim of the study was to examine how the degree of trust in certain sources of information and preferred ways of obtaining information depends on the gender, age, and educational level of respondents. Generalization of such materials makes it possible to optimize means and ways of improving public knowledge on radiation safety issues so that the population could adequately (without panic) treat reports concerning the development of nuclear power, construction of radioactive waste storage facilities, and the increasing use of ionizing radiation sources in medicine and industry. The study revealed that, regardless of gender, age, and education, respondents in all three surveyed regions want to receive information about the radiation situation only in the event of an emergency. A high percentage of the population, especially in the Leningrad and Murmansk regions, unreasonably characterize the level of radioactive contamination of their places of residence as strong, dangerous, and extremely dangerous, which indicates a poor level of knowledge of radiation safety issues. Age and education have no practically significant influence on this assessment. The respondents consider TV and the Internet to be the most popular sources of information about the radiation situation. At the same time, it is logical that older people prefer to receive information through traditional mass media, while younger people prefer the Internet.

Key words: population, Northwestern region of the Russian Federation, radiation safety, risk perception, mass media.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Personal participation of the authors

G.V. Arkhangelskaya determined the direction of the study, presented a description of the results of the study, and prepared an interim version of the manuscript.

S.A. Zelentsova reviewed the literature on the problem of informing the public about radiation safety and prepared tabular data.

A.M. Biblin prepared the final version of the manuscript.

A.A. Davydov carried out statistical analysis of the results of sociological research.

Acknowledgements

The authors are grateful to the specialists of St. Petersburg State University for their assistance in conducting the questionnaire survey as part of the joint fulfillment of the contract.

Funding sources

The work was funded under a state contract No. N.4d.241.20.17.1026 dated March 20, 2017 with Rosatom.

References

1. Voronov SI, Lutoshkin AV, Popova AYu, Stepanov VS, Peshkov YV, et al. Russian National Report. 30 Years of the Chernobyl Accident: Results and perspectives of negotiation of the consequences in Russia 1986-2016. Ed. Puchkov VA, Bolshov LA. EMERCOM of Russia; 2016. 202 p. (In Russian)
2. Radiation-hygienic aspects of the negotiation of the Chernobyl NPP consequences. Ed. By academic of RAS Onischenko GG and prof. Popova AYu. Saint-Petersburg, NIIRG after PV. Ramzaev; 2016. Vol. 1. 448 p. (In Russian)
3. Zykova IA, Zelentsova SA. Adverse socio-psychological consequences of the Chernobyl accident. *Uchenye 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)
4. Mirny S. Chernobyl as infotrauma. Trauma: points: collection of articles. Moscow: *Novoye literaturnoye obozreniye = New Literary Review*. 2009: 209-246 (In Russian)
5. Abalkina I, Melikhova E, Savkin M. Communicating radiation risks to the residents of the Chernobyl-affected areas in Russia: key lessons learned. *Annals of the ICRP*. 2021;50(1): 209-216. DOI: 10.1177/01466453211010917
6. Havenaar JM, de Wilde EJ, van den Bout J, Drottz-Sj berg BM, van den Brink W. Perception of risk and subjective health among victims of the Chernobyl disaster. *Social sci-*

Svetlana A. Zelentsova

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

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

- ence & medicine. 2003;56(3): 569-572. DOI: 10.1016/s0277-9536(02)00062-x
7. Biblin AM, Davydov AA, Vishnyakova NM, Akhmatdinov RR, Repin LV. Analysis of the impact of features of radiation accidents on crisis risk communication. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(2):27-38. (In Russian) DOI:org/10.21514/1998-426X-2021-14-2-27-38
 8. Tomkiv Y, Perko T, Oughton DH, Prezelj I, Cantone MC, Gallego E. How did media present the radiation risks after the Fukushima accident: a content analysis of newspapers in Europe. *Journal of Radiological Protection*. 2016;36(2): 64-81. DOI: 10.1088/0952-4746/36/2/S64
 9. 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)
 10. Biblin AM, Arkhangelskaya GA, Zelentsova SA, Khrantsov EV, Akhmatdinov RR, Sokolov NV, et al. Risk-communication issues in radiation safety: preferences of the public in the Leningrad and Murmansk regions on the sources of information. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 60-73. (In Russian) DOI: org/10.21514/1998-426X-2018-11-2-60-73
 11. Romanovich IK, Balonov MI, Barkovsky AN, Nikitin AI. NPP "Fukushima-1" accident: management of the prophylactic actions aimed at the preservation of health of the public of the Russian Federation. Ed. by academic of RAS Onischenko GG. Saint-Petersburg: NIIRG after P.V. Ramzaev; 2012. 336 p. (In Russian)
 12. "Fukushima-1" NPP Accident: Radiological Consequences and Lessons. Ed. by acad. of RAS G.G. Onischenko and prof. A.Yu. Popova. Saint-Petersburg: Research Institute of Radiation Hygiene after prof. P.V. Ramzaev; 2021. 388 p. (In Russian).
 13. Arkhangelskaya GV, Zelentsova SA, Zykova IA, Ramzaev VP, Khrantsov EV. Issues of informing the general public about consequences of peaceful nuclear explosions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(1): 20-26. (In Russian)
 14. Arkhangelskaya GV, Vainberg AL, Gubernatorova VV, Daricheva OA, Zelentsova SA, Zykova IA, et al. Subjective assessments of radiation risk on the territories adjacent to the places of peaceful nuclear explosions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(2): 34-39. (In Russian)
 15. Zelentsova SA, Arkhangelskaya GV, Zykova IA. Public opinion on the peaceful nuclear explosions in the perm territory. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(1): 5-9. (In Russian)
 16. Arkhangelskaya GV, Vasilieva TA, Zelentsova SA, Medvedev AYu, Ramzaev VP, Timofeeva MA. Public attitude towards the peaceful nuclear explosions conducted in the republic of Sakha (Yakutia). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(4): 15-21. (In Russian)
 17. Sokolov NV, Biblin AM, Repin LV, Rekhtina LS. Risk-communication issues in radiation safety: Mass consciousness about radiation and nuclear industry based on the results of a sociological research in St. Petersburg, the Leningrad region and the Murmansk region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3): 45-56. (In Russian) DOI: org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-45-56
 18. Biblin AM. Public opinion on radiation safety in the Arkhangelsk Region. Topical Issues of Radiation Hygiene. Mater. of international scientific and practical conference; 2018. P. 55-57. (In Russian).
 19. Arkhangelskaya GV, Zykova IA, Vishnyakova NM. Population protection: social and psychological issues. Radiological and hygienic issues of the mitigation of the Chernobyl NPP accident consequences. Ed.: G.G. Onischenko, A.Yu. Popova. St. Petersburg. Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev; 2016. P. 352-388. (In Russian).
 20. Zykova IA, Arkhangelskaya GV. Radioanxiety of population and measures to reduce it. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008;1(4): 65-72. (In Russian)
 21. Arkhagelskaya GV, Zykova IA, Zelentsova SA. The difficulties of informing the population on the issues of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(2): 42-49. (In Russian)
 22. Zelentsova SA, Arkhangelskaya GV, Khrantsov EV. Ways to optimize radiation safety communication activities taking into account information needs of the population. Modern Problems of Radiation Medicine: from Science to Practice. Mater. of the International Scientific-Practical Conference. Ed. by Doctor of Medicine, docent A.V. Rozhko. Gornel, GU "Republican Scientific-Practical Center for Radiation Medicine and Human Ecology", April 26-27, 2018. 2018; P. 57-58. (In Russian)
 23. Arkhagelskaya GV, Zykova IA, Zelentsova SA. The difficulties of informing the population on the issues of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(2): 42-49. (In Russian)

Received: May 16, 2022

Genrietta V. Arkhangelskaya – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Ecology, 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

For correspondence: Svetlana A. Zelentsova – Junior Researcher, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being. (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: sveta_zelentsova@mail.ru)

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

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

For citation: Arkhangelskaya G.V., Zelentsova S.A., Biblin A.M., Davydov A.A. Attitudes of the population of the Northwest region towards radiation safety issues. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 78-86. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-78-86

Пострадавший от радиационного воздействия человек – кто он?

А.В. Аклеев^{1,2}, А.А. Аклеев³

¹ Уральский научно-практический центр радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

³ Южно-Уральский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Челябинск, Россия

В статье рассматриваются проблемы, неопределенности и перспективы установления причинной связи заболеваний с радиационным воздействием. Обсуждаются критерии, которые могут быть использованы для оценки ущерба здоровью, вызванного облучением. Анализируется существующая практика признания отдельных категорий граждан в Российской Федерации пострадавшими от воздействия радиации, основанная на установлении межведомственными экспертными советами причинной связи заболеваний, инвалидности и случаев смерти с радиационным воздействием. Эксперты межведомственных экспертных советов при принятии решений руководствуются перечнем заболеваний, который должен регулярно актуализироваться на основании результатов радиоэпидемиологических исследований. Для объективизации принятия решений в работе обсуждаются перспективные научные исследования, направленные на индивидуализацию радиационного риска и поиск биологических предикторов и маркеров радиационно-индуцированных эффектов как детерминированной, так и стохастической природы.

Ключевые слова: пострадавший от воздействия радиации человек, межведомственный экспертный совет, причинная связь, перечень заболеваний, биомаркеры, персонализация радиационного риска.

Введение

Термин «Пострадавший от радиационного воздействия человек» (далее «Пострадавший») широко используется не только в законодательных документах, но и в научной литературе [1, 2]. Нередко в научных публикациях в качестве синонима применяют термин «Жертва» («Victim») [3, 4]. Однако восприятие его смыслового значения в разных контекстах затруднено. Статус пострадавшего в соответствии с законодательством Российской Федерации предполагает право на компенсацию за причиненный ущерб здоровью. Прежде всего, это касается людей, подвергшихся аварийному облучению. Для решения социально-экономических [1, 2] и медицинских проблем [5] категория пострадавших людей должна быть определена на основе объективных унифицированных критериев.

Практика идентификации людей, пострадавших от радиационного воздействия, в соответствии с действующим законодательством предполагает установление причинной связи заболеваний и инвалидности у отдельных категорий облученных людей [1, 2]. Для решения этой задачи созданы Межведомственные экспертные советы (МЭС). Более 30 лет эксперты МЭС, используя рекомендуемый перечень заболеваний, для которых доказана связь с радиационным воздействием [6, 7], принимают

решения о связи заболеваний, инвалидности и смерти у облученных людей с радиационным воздействием.

В последние годы активно разрабатываются новые биотехнологии, которые позволяют анализировать геном, протеом, метаболом и выявлять субклинические радиационные повреждения на уровне клетки и ткани [6, 7]. Перспективы их практического применения пока остаются неясными. В этой связи целью настоящей работы является анализ отечественной практики установления причинной связи заболеваний у облученных людей и перспектив использования современных биотехнологий для поиска биологических маркеров радиационно-индуцированных заболеваний.

Процедура признания облученного человека пострадавшим от радиационного воздействия в Российской Федерации

Практика социальной защиты людей, пострадавших от радиационного воздействия, существует в ряде стран [8]. В Российской Федерации право на компенсацию ущерба здоровью, причиненного облучением, реализуется в соответствии с принципом дифференциации правового регулирования в сфере социального обеспечения населения [1]. В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 21 января 2022 г. № 24 право

Аклеев Александр Васильевич

Уральский научно-практический центр радиационной медицины

Адрес для переписки: 454141, г. Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: akleyev@urcrm.ru

на денежные компенсации имеют ликвидаторы и население, которые подверглись облучению вследствие аварий на Производственном объединении «Маяк» и Чернобыльской АЭС, сбросов радиоактивных отходов в р. Течу; а также граждане, подвергшиеся радиационному воздействию вследствие испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне и принимавшие участие в действиях подразделений особого риска.

Установлением причинной связи заболеваний, инвалидности и смерти вышеуказанных категорий граждан занимаются межведомственные экспертные советы (МЭС). Состав и регламент деятельности МЭС в настоящее время определены приказом Минздрава России от 12 ноября 2020 г. № 1219. Эксперты МЭС принимают решение о причинной связи заболеваний после анализа медицинских документов, данных о дозе и характере облучения, нерадиационных факторах риска на основании перечня заболеваний, утвержденного постановлением Правительства РФ и приказами Минздрава России. Перечень актуализируется с учетом новых научных данных о радиационных эффектах у человека, на основе публикаций Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и Научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР). Решение о причинной связи заболеваний с радиационным воздействием принимается путем экспертной оценки и в значительной мере зависит от качества и объема имеющейся в распоряжении экспертов МЭС медицинской и дозиметрической информации, а также от квалификации экспертов. Поскольку нередко медицинская информация, поступающая в МЭС, недостаточного качества, эксперты занимаются и верификацией диагноза. Сегодня очевидно, что методология установления причинной связи требует большей объективизации.

Установление связи заболевания с радиационным воздействием МЭС означает юридическое признание, что облученный человек пострадал в результате радиационного воздействия и имеет право на компенсации за причиненный ущерб здоровью. В случаях, когда связь заболеваний с облучением экспертами МЭС не устанавливается, нередко возникает конфликтная ситуация, которая разрешается в судебном порядке. Одной из главных причин таких конфликтных ситуаций является отсутствие объективных критериев, позволяющих признать облученного человека пострадавшим. Заявитель нередко рассматривает факт своего облучения и наличие документа, подтверждающего полученную дозу облучения, как доказательство того, что он является пострадавшим.

На самом деле поглощенная доза чрезвычайно важна для принятия решения экспертами МЭС, особенно в отношении детерминированных эффектов. Она рассматривается экспертами как критерий степени радиационного воздействия, но не является критерием ущерба здоровью облученному человеку. Как правило, в МЭС представляется документ с эффективной дозой облучения, которая имеет лишь оценочное значение для экспертов, поскольку предложена МКРЗ исключительно для целей радиационной защиты. Результаты оценки поглощенной дозы и биологической дозиметрии представляются в МЭС чрезвычайно редко.

Источники неопределенностей причинной связи заболеваний с радиационным воздействием

Используемый МЭС перечень заболеваний включает как детерминированные (реакции тканей, острый и хронический лучевые синдромы), так и стохастические эффекты (прежде всего, злокачественные опухоли и лейкозы). После верификации диагноза лучевого поражения специалистом по профессиональной патологии детерминированные эффекты с высокой степенью вероятности могут быть связаны с радиационным воздействием. Стохастические же эффекты являются полиэтиологическими, а вклад радиации в их индукцию, как правило, не является определяющим. По этой причине приписывать мультифакториальную патологию действию радиации чрезвычайно сложно [7].

Лучевые реакции тканей и органов

Показано, что клинически значимые радиационные реакции тканей могут развиваться у человека при поглощенных органических дозах более 100 мГр. Ткани органов существенно различаются по радиочувствительности. Наиболее радиочувствительными органами являются гонады, костный мозг и хрусталик. Пороговые значения доз для клинически значимых реакций различных тканей и органов представлены в публикации 118 МКРЗ. Большинство тканей человека демонстрируют более выраженную толерантность к воздействию ионизирующего излучения (ИИ) с низкой ЛПЭ в условиях хронического облучения, чем при однократном воздействии в такой же дозе [6]. Репарация сублетальных повреждений, резерв зрелых клеток ткани, индуцированная радиоадаптация, наряду с другими гомеостатическими механизмами, позволяют облученному органу некоторое время сохранять нормальную функциональную активность после начала хронического низкоинтенсивного облучения [9].

Для диагностики лучевых реакций тканей большое значение имеет поглощенная доза на орган-мишень. Факт превышения значения пороговой дозы для определенного эффекта в совокупности с клиническими проявлениями, а также анализ их течения в зависимости от мощности дозы при хроническом облучении позволяют надежно диагностировать лучевые реакции тканей [10]. Для диагностики тканевых эффектов со стороны легких и почек важное значение имеет не только доза, но и объем облученного органа, что обусловлено выраженным физиологическим резервом зрелых клеток в парных органах. Необходимо подчеркнуть, что дозы ниже пороговых хотя и не вызывают клинически значимых нарушений функций органов, но индуцируют некоторые изменения в клетках и тканях [6].

Как отмечалось, установление причинной связи детерминированных эффектов с радиационным воздействием, как правило, не представляет сложности, в отличие от их диагностики. Диагностические сложности обусловлены продолжительным латентным периодом, который может исчисляться месяцами и даже годами [9–12] и отсутствием патогномичных симптомов. К сожалению, отсутствие чувствительных и специфических биологических маркеров (биомаркеров), которые могут указывать на радиационную природу реакций тканей, затрудняет их диагностику.

Сегодня показано, что в патогенезе реакций тканей решающую роль играют гибель клеток, функциональные ответы облученных клеток (например, цитокиновые каскады, эпигенетические изменения) и вторичные ответы тканей (сосудистые и дистрофические изменения, фиброз, воспаление и др.). Зависимость степени тяжести реакций тканей, их частоты и продолжительности латентного периода от органной дозы определяется выживаемостью клеток в облученной ткани и пострадиационной кинетикой клеток-мишеней (прежде всего, стволовых клеток и клеток-предшественников), обеспечивающих регенерацию облученной ткани. В этой связи численность популяции стволовых, дифференцирующихся и зрелых клеток, а также клеточная гибель (например, интенсивность апоптоза) в ткани представляют вполне определенный интерес в качестве биомаркеров радиационного ее повреждения.

На тканевом уровне, особенно после хронического облучения, реализуется ряд компенсаторных процессов (репопуляция клеток, компенсаторная пролиферация и др.). Возможность применения гомеостатических параметров в качестве биомаркеров радиочувствительности клеток тканей остается спорной. Однако имеются указания, что в качестве маркера радиочувствительности клеток человека можно рассматривать способность лимфоцитов периферической крови индуцировать адаптивный ответ [13]. Ограничения применения теста обусловлены высокой межиндивидуальной вариабельностью, а также неспособностью лимфоцитов у многих людей формировать адаптивный ответ.

Соматические стохастические эффекты

Необходимо отметить, что по прошествии многих лет после аварий на ПО «Маяк» и ЧАЭС, а также после испытаний ядерного оружия соматико-стохастические эффекты являются наиболее актуальной лучевой патологией в контексте установления причинной связи с радиационным воздействием. В настоящее время показано, что частота злокачественных новообразований (ЗНО), сердечно-сосудистых и некоторых других заболеваний у облученных людей может повышаться через определенный латентный период. Риск развития этих заболеваний возрастает с увеличением дозы облучения. Считается, что порог дозы для их индукции отсутствует. Тяжесть этих заболеваний от дозы облучения не зависит. Поскольку не обнаружено никаких патогномичных симптомов и биомаркеров, которые бы позволили их идентифицировать как радиационно-индуцированные, доказать радиационную природу злокачественных новообразований (ЗНО) и сердечно-сосудистых заболеваний у облученного человека не представляется возможным. Эти эффекты можно лишь с определенной вероятностью приписать радиационному воздействию [6].

Невозможность использования оценок популяционного радиационного риска для установления причинной связи стохастических эффектов у конкретного облученного человека обусловлена их этиологической гетерогенностью. Хорошо известно, что даже злокачественные опухоли и лейкозы, которые являются наиболее доказанными стохастическими радиационно-индуцированными эффектами, не являются специфическими для действия ИИ. Они вызываются также и нерадиационными факторами и имеют определенный спонтанный уровень [14]. По

данным многолетних наблюдений за людьми, пережившими атомные бомбардировки, облученными вследствие аварий на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС, а также за персоналом предприятий атомной отрасли, установлено, что атрибутивный риск злокачественных опухолей у них не превышает 5% [7]. Эти данные свидетельствуют о том, что подавляющая доля злокачественных опухолей, которые развиваются у облученных людей, имеет нерадиационную этиологию. Более того, установлено, что риск развития ЗНО у облученных людей существенно модифицируется сопутствующими нерадиационными экзогенными факторами (например, психологический стресс, химические факторы) и эндогенными факторами (например, возраст на время облучения, пол, генетические и иммунные особенности организма).

Важно подчеркнуть, что надежные оценки канцерогенного риска получены в эпидемиологических наблюдениях за людьми, облученными в больших дозах. Для малых доз, которые представляют для экспертов МЭС наибольший интерес, доказательная база остается достаточно противоречивой в связи с большой неопределенностью величин радиационного риска [14]. Однако в последние годы растет число доказательств, что дозы порядка 100 мГр, в том числе от повторного медицинского применения ИИ с диагностической целью, могут вызывать канцерогенные эффекты [15].

В этой связи идентификация биологических маркеров, имеющих прогностическое и диагностическое значение для выявления радиационно-индуцированных ЗНО, представляет большой практический интерес. Ранее предполагалось, что в качестве предиктора канцерогенных эффектов у облученного человека можно использовать уровень хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови. Однако масштабные исследования, проведенные в ряде европейских стран [16, 17], не подтвердили их прогностическую ценность в отношении развития ЗНО, включая гемобластозы. Вместе с тем, было установлено, что динамика числа нейтрофилов в периферической крови облученных людей, у которых впоследствии развивались хронический миелоидный лейкоз и острые лейкозы, имеет особенности, которые позволяют прогнозировать лейкозогенный риск у облученного человека [18].

Как отмечалось, поиск молекулярно-генетических, цитогенетических, биохимических и иммунологических маркеров, которые бы позволили установить радиационную этиологию ЗНО у облученного человека, пока не увенчался успехом [14]. Практическая значимость повышения частоты перестроек *RET*-протоонкогена и снижение *B-raf*-мутаций в раковых клетках щитовидной железы у облученных вследствие Чернобыльской аварии также остается неясной [19].

Другим подходом, который позволит объективизировать установление радиационной природы отдаленных эффектов, является моделирование индивидуального радиационного риска ЗНО у конкретного облученного человека с учетом нерадиационных факторов риска и факторов, модифицирующих радиационный риск. Примером такого подхода является недавно разработанное программное обеспечение «ProZES» для расчета вероятности возникновения ЗНО в результате радиационного облучения. Оно позволяет вычислить вероятность развития

радиационно-индуцированного рака у конкретного человека вследствие предшествующего профессионального облучения и оценить диапазон неопределенности [20].

Еще более сложной задачей является экспертиза заболеваний органов кровообращения. Хотя в настоящее время появились эпидемиологические данные о связи сердечно-сосудистых заболеваний и некоторых других нераковых эффектов с радиационным воздействием [6], недоучет нерадиационных факторов риска в этих исследованиях пока не позволяет прийти к однозначному выводу об этиопатогенетической роли радиации в их развитии. В этой связи важно отметить, что популяционные исследования радиационного риска стохастических эффектов, хотя и не могут быть напрямую использованы для установления причинной связи заболеваний у индивида, остаются чрезвычайно важным источником информации для актуализации перечня радиационно-индуцированной патологии.

Теоретические предпосылки для установления причинной связи медико-биологических эффектов на основе анализа радиационных повреждений клеток и тканей

В настоящее время радиационные эффекты установлены на различных уровнях организации живых систем, начиная с молекулярного и заканчивая популяционно-видовым. Наиболее специфические биологически значимые радиационно-индуцированные изменения регистрируются в виде кластерных повреждений ядерной ДНК [21]. При малых дозах за счет гомеостатических процессов неспецифичность медико-биологических эффектов ИИ по мере повышения уровня организации живых систем возрастает [22]. Исходя из этого, можно предположить, что изменения на субклеточном, клеточном и тканевом уровне у облученного человека можно с большей вероятностью рассматривать как вызванные ИИ. В этой связи возникает вопрос: можно ли в качестве критерия идентификации «пострадавшего» использовать субклинические повреждения клеток и тканей?

В контексте чувствительности и специфичности биологических маркеров для ИИ важно отметить, что дозовая зависимость радиационно-индуцированных фокусов, генных мутаций и хромосомных aberrаций доказана *in vitro*, в экспериментах на животных и у человека [14]. Некоторые из них (например, хромосомные aberrации) уже используются для целей биологической дозиметрии и особенно в случаях аварийного облучения человека, когда не применялись методы физической дозиметрии.

В судебной практике МЭС имеют место прецеденты использования повышенного уровня хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови как доказательство того, что облученный человек пострадал в результате облучения. Однако такая практика представляется необоснованной по ряду причин.

Прежде всего, необходимо отметить, что субклеточные повреждения и особенно радиационно-индуцированные фокусы, которые отражают только физико-химические процессы взаимодействия ИИ с молекулой ДНК, не могут рассматриваться в качестве маркера радиочувствительности человека. Кроме того, количественный анализ радиационно-индуцированных хромосомных aberrаций (например, дицентрических хромосом

и транслокаций), фокусов (например, γ H2AX и 53BP1) и генных мутаций позволяет оценить эффект повреждения ИИ только отдельных клеток. Наличие их в клетках облученного человека (чаще всего в лимфоцитах периферической крови) не всегда характеризует клинически значимое повреждение облученных органов, а следовательно, они не могут рассматриваться в качестве биомаркеров радиационного эффекта.

В-третьих, в ответ на первичное повреждение ДНК включается комплекс разнонаправленных механизмов поддержания генетического гомеостаза клетки. Именно эти последующие гомеостатические клеточные ответы, такие как синтез антиоксидантов, металлотионеинов, белков теплового шока, задержка клеточного цикла, репарация ДНК, апоптоз, иммунные реакции и др. имеют определяющее значение для развития медико-биологических последствий облучения, особенно после хронического облучения и в малых дозах [14, 22]. Как следствие, радиационные повреждения макромолекул и, прежде всего, ДНК могут быть репарированы, а клетки со стабильными изменениями в виде генных мутаций и хромосомных aberrаций элиминированы посредством гибели (например, репродуктивная гибель или апоптоз) или иммунных ответов (в частности, зависимых от цитотоксических клеток) [21, 22].

Параметры, характеризующие механизмы поддержания генетического гомеостаза клеток и тканей пока также не применяются в качестве предикторов радиационного повреждения, поскольку не являются специфическими. Они индуцируются оксидативным стрессом в клетках как спонтанно, так и нерадиационными факторами. Практическое использование их также затруднено, поскольку они характеризуются выраженной внутрииндивидуальной и межиндивидуальной вариабельностью [6].

Следует также отметить, что их эффективность пока трудно оценить, поскольку они сложным образом взаимосвязаны. Показано, что у лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию в широком диапазоне доз облучения красного костного мозга, отдаленные изменения системного иммунитета определяются не только снижением количества иммунокомпетентных клеток, хромосомными aberrациями и мутациями в генах Т-клеточного рецептора в лимфоцитах, но и повышением интенсивности апоптоза лимфоцитов крови, G1/S-блоком клеточного цикла, а также модификацией транскрипционной активности генов, вовлеченных в регуляцию иммунитета [23]. Важное значение для установления причинной связи заболеваний с радиационным воздействием может иметь выяснение механизмов индивидуальной радиочувствительности человека. Известно, что радиочувствительность индивидов гомозиготных в отношении мутаций в генах репарации ДНК повышена в 2–3 раза по сравнению с популяцией в среднем [6].

Заключение

Принятая в нашей стране практика признания облученного человека, основанная на установлении связи его заболеваний с радиационным воздействием, является в настоящее время оправданной. Пострадавшим от радиационного воздействия считается облученный человек, у которого компетентными органами (МЭС) установлена связь заболеваний с воздействием ИИ. Таким образом,

критерием признания облученного человека пострадавшим является наличие у облученного человека клинически значимого радиационно-индуцированного заболевания в виде тканевой реакции или стохастического эффекта.

Доза облучения и биомаркеры дозы (например, хромосомные аберрации) должны учитываться при диагностике детерминированных эффектов, но не могут рассматриваться в качестве критериев отнесения человека к лицам, пострадавшим от облучения, по ряду причин. Действительно поглощенная доза важна для понимания вероятности развития того или иного радиационно-индуцированного заболевания, так как лучевые реакции тканей и органов имеют порог дозы, а вероятность развития стохастических эффектов повышается с увеличением дозы облучения. Однако она практически никогда не оценивается и недоступна экспертам МЭС. Чаще эксперты имеют данные об эффективной дозе облучения, которая не пригодна для установления причинной связи заболеваний. МКРЗ разработала концепцию эффективной дозы, которая учитывает биологическую эффективность различных видов излучений и риск канцерогенных и генетических эффектов у потомства, исключительно для целей радиационной защиты. МКРЗ не рекомендует ее использовать для оценки ущерба здоровью у конкретного облученного индивида [21]. Биомаркеры дозы чрезвычайно важны для оценки степени облучения, когда дозиметрия физическими методами не проводилась, а также для верификации модельных оценок доз.

В отдаленные сроки после аварий на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС, а также испытаний ядерного оружия сохраняет актуальность проблема установления связи стохастических эффектов с радиационным воздействием. Сложность принятия объективных решений по установлению связи мультифакториальных заболеваний (например, злокачественные новообразования) у конкретного облученного человека предопределяет необходимость разработки принципиально новых подходов.

Проблема установления связи нераковых заболеваний, даже таких как катаракта и сердечно-сосудистые заболевания, у самих облученных людей, а также генетических эффектов у потомства (трансгенерационные эффекты) с облучением представляет еще большие сложности. Количественный анализ множества факторов риска, влияющих на их развитие, и их роли в патогенезе этих патологических состояний является чрезвычайно сложной задачей.

Отсутствие биомаркеров радиационно-индуцированных эффектов у человека предполагает поиск маркеров к их предрасположенности. Как уже отмечалось, индивидуальные особенности радиочувствительности, обусловленные эффективностью гомеостатических механизмов и физиологическим резервом тканей, имеют большое значение для развития лучевой патологии при хроническом облучении и малых дозах, когда регистрируется и радиоадаптация. Принимая во внимание, что все эти процессы являются генетически детерминированными, перспективными предикторами радиационно-индуцированных эффектов могут быть молекулярно-генетические и эпигенетические факторы. В этой связи факторы, опосредующие такие важные процессы, как клеточный цикл и репарация ДНК, могут дать чрезвычайно важную информацию для

прогноза риска ЗНО после облучения. Уже сегодня новые молекулярно-клеточные технологии позволяют, исследуя геном, протеом и метаболом, разработать принципиально новые подходы для поиска биомаркеров дозы, предрасположенности и радиационно-индуцированных эффектов.

В отсутствие молекулярно-генетических маркеров радиационно-индуцированных ЗНО, анализ структуры и функции генов, вовлеченных в такие патологические процессы, как канцерогенез и воспаление, представляет безусловный интерес. Так, модельные исследования показали, что генетические вариации могут существенно влиять на распределение канцерогенного риска среди облученных людей [24]. Предполагается, что индивидуальная генетическая предрасположенность к отдаленным эффектам ИИ ассоциирована с переменными участками ДНК – полиморфизмами, в том числе однонуклеотидными (ОНП). Так, результаты исследований ОНП генов, кодирующих факторы противоопухолевой защиты организма, свидетельствуют о потенциальной возможности применения некоторых из них в качестве биологических маркеров предрасположенности к отдаленным медицинским эффектам ИИ и, прежде всего, ЗНО [25]. Особое внимание уделяется полиморфизмам генов, регулирующих антиоксидантный статус, апоптоз и репарацию различных видов повреждений ДНК, индуцированных ИИ [26, 27]. Анализ ассоциативных связей ОНП генов, вовлеченных в процессы распознавания и репарации повреждений ядерной ДНК, регуляцию апоптоза у облученных людей, позволяет сделать заключение о существенном модифицирующем влиянии генетического фактора на формирование индивидуальной радиочувствительности [28].

Одна из проблем использования ОНП в качестве биомаркеров состоит в том, что отдаленные радиационно-индуцированные заболевания являются полигенными, а ОНП могут как предрасполагать к их развитию, так и иметь протективное значение.

Однако биомаркеры предрасположенности к радиационным эффектам также не могут рассматриваться в качестве критериев ущерба здоровью облученного человека. Их, как и поглощенную дозу и биомаркеры дозы, целесообразно рассматривать в качестве важных факторов, влияющих на радиационный риск медицинских последствий облучения человека. Факт облучения, биомаркеры дозы или предрасположенности к радиационно-индуцированным эффектам могут свидетельствовать о вероятности потенциального ущерба здоровью, тогда как наличие у облученного человека лучевой реакции органа или соматического заболевания стохастической природы является свидетельством реального ущерба здоровью.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Аклеев Александр Васильевич – разработка концепции, обзор литературы и написание статьи.

Аклеев Андрей Александрович – обсуждение концепции и дизайна работы, обзор литературы и написание статьи.

Благодарности

Авторы благодарят А.Ю. Гарбузову за помощь в переводе на английский язык и рецензентов за тщательный и критический анализ статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Антипова Н.В. Классификация критериев дифференциации правового регулирования в праве социального обеспечения // Актуальные проблемы российского права. 2016. Т. 71, № 10. С. 111-117. DOI: 10.17803/1994-1471.2016.71.10.111-117.
2. Черепанцева Ю.С. Правовые позиции Конституционного Суда Российской Федерации как основа развития системы социальной защиты граждан, пострадавших от воздействия радиации. Сборник материалов шестой международной науч.-практ. конф. «За права трудящихся! Защита социально-трудовых прав работников в изменяющемся мире: возможности и ограничения». Екатеринбург, 2021. С. 169-173.
3. Davids M.S., Case C., Confer D.L., et al. Medical management of radiation victims in the United States // Health Physics. 2010. Vol. 98, № 6. P. 833-837. DOI: 10.1097/01.HP.0000346701.04476.0d.
4. Moiseenko V., Khvostunov I.K., Hattangadi-Gluth J.A., et al. Biological dosimetry to assess risks of health effects in victims of radiation accidents: Thirty years after Chernobyl // Radiotherapy and Oncology. 2016. Vol. 119. P. 1-4.
5. Rump A., Becker B., Eder S., et al. Medical management of victims contaminated with radionuclides after a "dirty bomb" attack // Military Medical Research. 2018. № 5:27. https://doi.org/10.1186/s40779-018-0174-5.
6. Stewart F.A., Akleyev A.V., Hauer-Jensen M., et al. Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Elsevier, 2012. 322 p.
7. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex A. Attributing observed health effects to radiation exposure. New York: United Nations, 2015. 74 p.
8. Assessment of the scientific information for the radiation exposure screening and education program. National Research Council of the National Academies. Washington: The National Academies Press, 2005. 413 p.
9. Akleyev A.V. Normal tissue reactions to chronic radiation exposure in man // Radiation Protection Dosimetry. 2016. Vol. 171, № 1. P. 107-116. Doi:10.1093/rpd/ncw207.
10. Akleyev A.V. Chronic radiation syndrome. Berlin Heidelberg: Springer; 2014. 410 p.
11. Аклеев А.В. Радиобиологические закономерности реакций нормальных тканей при лучевой терапии опухолей // Радиационная биология. Радиоэкология. 2014. Т. 54, № 3. С. 241-255.
12. Akleyev A.V. Early signs of chronic radiation syndrome in residents of the Techa riverside settlements // Radiation Environment Biophysics. 2021. Vol. 60. P. 203-212. https://doi.org/10.1007/s00411-021-00897-8.
13. Akleyev A.V., Aleshchenko A., Kudryashova O., et al. Adaptive response of blood lymphocytes as a marker of hemopoiesis status in exposed persons // Health Physics. 2012. Vol. 103, № 1. P. 50-52.
14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex C. Biological mechanisms relevant for the inference of cancer risks from low-dose and low-dose-rate radiation. New York: United Nations, 2021. 238 p.
15. Little M.P., Wakeford R., Bouffler S.D., et al. Review of the risk of cancer following low and moderate doses of sparsely ionizing radiation received in early life in groups with individually estimated doses // Environment International. 2022. Vol. 159. P. 106983. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106983.
16. Hagmar L., Brøgger A., Hansteen I.L., et al. Cancer risk in humans predicted by increased levels of chromosomal aberrations in lymphocytes: Nordic study group on the health risk of chromosome damage // Cancer Research. 1994. Vol. 54, № 11. P. 2919-2922.
17. Bonassi S., Norppa H., Ceppi M., et al. Chromosomal aberration frequency in lymphocytes predicts the risk of cancer: results from a pooled cohort study of 22 358 subjects in 11 countries // Carcinogen. 2008. Vol. 29, № 6. P. 1178-1183. DOI: 10.1093/carcin/bgn075.
18. Akleyev A.A. Peculiarities of dynamics of peripheral blood cell composition in chronically-exposed individuals in the period prior to leukemia development // Radiation Protection Dosimetry. 2018. Vol. 182, № 1. P. 154-162. https://doi.org/10.1093/rpd/ncy151.
19. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Приложение D. Последствия облучения для здоровья человека в результате Чрезвычайной аварии. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций; 2012. 173 с.
20. Ulanowski A., Shemyakina E., Guthlin D., et al. ProZES: the methodology and software tool for assessment of assigned share of radiation in probability of cancer occurrence // Radiation and Environmental Biophysics. 2020. Vol. 59. P. 601-629. https://doi.org/10.1007/s00411-020-00866-7.
21. ICRP, 2007. Recommendations of the ICRP: ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. 2007. V. 37, № 2-4. 331 p.
22. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Biological mechanisms of radiation actions at low doses. New York. United Nations, 2012. 35 p.
23. Аклеев А.А. Иммунный статус у лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию, в период реализации отдаленных последствий : автореф. дис. ... доктора мед. наук. Челябинск, 2019. 46 с.
24. Pharoah P.D., Antoniou A., Bobrow M., et al. Polygenic susceptibility to breast cancer and implications for prevention // Nature Genetics. 2002. V. 31, № 1. P. 33-36.
25. Visscher P.M., Brown M.A., McCarthy M.I., et al. Five years of GWAS discovery // The American Journal of Human Genetics. 2012. V. 90, № 1. P. 7-24.
26. Schonfeld S.J., Bhatti P., Brown E.E., et al. Polymorphisms in oxidative stress and inflammation pathway genes, low-dose ionizing radiation, and the risk of breast cancer among US radiologic technologists // Cancer Causes and Control. 2010. V. 21, № 11. P. 1857-1866.
27. Русина Г.Г., Вязовская Н.С., Азизова Т.В., и др. Роль полиморфизмов ключевых генов эксцизионной репарации оснований ДНК в предрасположенности к раку легкого у работников ПО «Маяк» // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56, № 4. С. 371-381.
28. Хаитов Р.М., Аклеев А.В., Кофиади И.А. Индивидуальная радиочувствительность и иммунитет. Челябинск: Книга, 2018. 215 с.

Поступила: 29.04.2022 г.

Аклеев Александр Васильевич – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, директор Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 454141, г. Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: akleyev@urcrm.ru

Аклеев Андрей Александрович – доктор медицинских наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии Южно-Уральского государственного медицинского университета, Челябинск, Россия

Для цитирования: Аклеев А.В., Аклеев А.А. Пострадавший от радиационного воздействия человек – кто он? // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 87-94. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-87-94

A person affected by radiation exposure – who is he?

Alexander V. Akleyev^{1,2}, Andrey A. Akleyev³

¹ Urals Research Center for Radiation Medicine of Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

² Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

³ Southern-Urals State Medical University of the Russian Federation Ministry of Public Health, Chelyabinsk, Russia

The review dwells upon the problematic issues, uncertainties and prospects of establishing causal relationship between diseases and radiation exposure. The review discusses the challenges, uncertainties and prospects of establishing causation between exposure to radiation and diseases. The criteria that could be used to assess the radiation-induced health damage are considered. The existing practice of recognizing certain categories of citizens of the Russian Federation as people affected by radiation exposure, which is based on the establishing causal relationship between disease, invalidity, death with radiation exposure by Interdepartmental expert councils, is analyzed. Experts of Interdepartmental expert councils in taking the decision rely on to the list of diseases that should be updated consistently based on the findings of radio-epidemiological studies. To make the decision-making process objective, advanced scientific studies focused on individualization of the radiation risk and search for the biomarkers of radiation-induced effects, both deterministic and stochastic ones, are discussed.

Key words: a person affected by radiation exposure, interdepartmental expert council, causal relationship, list of diseases, biomarkers, personification of radiation risk.

Information about the authors' personal contribution to the article

Alexander V. Akleyev – concept development, literature review and article creation. Andrey A. Akleyev – discussion of the concept and article design, literature review and article creation.

Acknowledgement

The authors would like to thank A.Yu. Garbuzova for her assistance in translating into English and the reviewers for their thorough and critical analysis of the article.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Antipieva NV. Classification criteria for differentiation of the legal regulation of the right to social security. *Aktual'nye problemy rossiyskogo prava = Actual Problems of Russian Law*. 2016;(10): 111-117. (In Russian) DOI: 10.17803/1994-1471.2016.71.10.111-117.
2. Cherepantseva YuS. Legal positions of the constitutional court of the Russian Federation as the basis for the development of the system of social protection of citizens affected by radiation. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference "For workers' rights! protection of social and labor rights OF employees in a changing world: opportunities and limitations". Ekaterinburg; 2021: 169-173.
3. Davids MS, Case C, Confer DL, et al. Medical management of radiation victims in the United States. *Health Physics*. 2010;98(6): 833-837. DOI: 10.1097/01.HP.0000346701.04476.0d.
4. Moiseenko V, Khvostunov IK, Hattangadi-Gluth JA, et al. Biological dosimetry to assess risks of health effects in victims of radiation accidents: Thirty years after Chernobyl. *Radiotherapy and Oncology*. 2016;119: 1-4.
5. ICRP, 2007. Recommendations of the ICRP: ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4): 331.
6. Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, Kleiman NJ, MacVittie TJ, et al. Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Elsevier; 2012. 322 p.
7. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex A. Attributing observed health effects to radiation exposure. New York: United Nations; 2015. 74 p.
8. Assessment of the scientific information for the radiation exposure screening and education program. National Research Council of the National Academies. Washington: The National Academies Press; 2005. 413 p.

Alexander V. Akleyev

Urals Research Center for Radiation Medicine

Address for correspondence: Vorovskogo Str., 68-A, Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: akleyev@urcrm.ru

9. Akleyev AV. Normal tissue reactions to chronic radiation exposure in man. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;171(1): 107-116. Doi:10.1093/rpd/ncw207.
10. Akleyev AV. Chronic radiation syndrome. Berlin Heidelberg: Springer; 2014. 410 p.
11. Akleyev AV. Radiobiological patterns of normal tissue reactions during tumor radiotherapy. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2014;54(3): 241–255. (In Russian).
12. Akleyev AV. Early signs of chronic radiation syndrome in residents of the Techa riverside settlements. *Radiation Environmental Biophysics*. 2021;60: 203–212. <https://doi.org/10.1007/s00411-021-00897-8>.
13. Akleyev AV, Aleshchenko A, Kudryashova O, et al. Adaptive response of blood lymphocytes as a marker of hemopoiesis status in exposed persons. *Health Physics*. 2012;103(1): 50-52.
14. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex C. Biological mechanisms relevant for the inference of cancer risks from low-dose and low-dose-rate radiation. New York: United Nations; 2021. 238 p.
15. Little MP, Wakeford R, Bouffler SD, et al. Review of the risk of cancer following low and moderate doses of sparsely ionising radiation received in early life in groups with individually estimated doses. *Environment International*. 2022;159: 106983. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106983.
16. Hagmar L, Brøgger A, Hansteen IL, et al. Cancer risk in humans predicted by increased levels of chromosomal aberrations in lymphocytes: Nordic study group on the health risk of chromosome damage. *Cancer Research*. 1994;54(11): 2919–2922.
17. Bonassi S, Norppa H, Ceppi M, et al. Chromosomal aberration frequency in lymphocytes predicts the risk of cancer: results from a pooled cohort study of 22 358 subjects in 11 countries. *Carcinogen*. 2008;29(6): 1178–1183. DOI: 10.1093/carcin/bgn075.
18. Akleyev AA. Peculiarities of dynamics of peripheral blood cell composition in chronically-exposed individuals in the period prior to leukemia development. *Radiation Protection Dosimetry*. 2018;182(1): 154–162. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy151>.
19. United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex D. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident. New York United Nations Organization; 2012. 173 p.
20. Ulanowski A, Shemiakina E, Guthlin D, et al. ProZES: the methodology and software tool for assessment of assigned share of radiation in probability of cancer occurrence. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2020;59: 601–629. <https://doi.org/10.1007/s00411-020-00866-7>.
21. ICRP, 2007. Recommendations of the ICRP: ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4): 331 p.
22. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Biological mechanisms of radiation actions at low doses. New York: United Nations; 2012. 35 p.
23. Akleyev AA. Immune status in people affected by chronic radiation exposure in the period of late effects development. Extended abstract of the dissertation for a doctoral degree in Medicine. Chelyabinsk; 2019. 46 p.
24. Pharoah PD, Antoniou A, Bobrow M, et al. Polygenic susceptibility to breast cancer and implications for prevention. *Nature Genetics*. 2002;31(1): 33-36.
25. Visscher PM, Brown MA, McCarthy MI, et al. Five years of GWAS discovery. *The American Journal of Human Genetics*. 2012;90(1): 7-24.
26. Schonfeld SJ, Bhatti P, Brown EE, et al. Polymorphisms in oxidative stress and inflammation pathway genes, low-dose ionizing radiation, and the risk of breast cancer among US radiologic technologists. *Cancer Causes and Control*. 2010;21(11): 1857-1866.
27. Rusinova GG, Vyazovskaya NS, Azizova TV, et al. The Role of Polymorphisms of Key Genes of DNA Base Excision Repair in Terms of Lung Cancer Predisposition in “Mayak” Workers. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2016;56(4): 371-381. (In Russian).
28. Khaitov RM, Akleyev AV, Kofiadi IA. Individual radiosensitivity and immunity. Chelyabinsk, Kniga; 2018. 215 p. (In Russian).

Received: April 29, 2022

For correspondence: Alexander V. Akleyev – Doctor of Medical Science, Professor, Honoured Science Worker of the Russian Federation, Director, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency of Russia (68A Vorovsky street, Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: akleyev@urcrm.ru)

Andrey A. Akleyev – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Microbiology, Virology and Immunology, Southern-Urals State Medical University, Russian Federation Ministry of Public Health, Chelyabinsk, Russia

For citation: Akleyev A.V., Akleyev A.A. A person affected by radiation exposure – who is he? *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No 2, P. 87-94. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-87-94.

Мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs и природных радионуклидов в одноэтажных жилых домах в населенных пунктах Брянской области в 2020–2021 гг.

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

Метод полевой (*in situ*) гамма-спектрометрии был использован для раздельного определения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs и от природных радионуклидов внутри помещений в населенных пунктах, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения после Чернобыльской аварии. Измерения с помощью портативного сцинтилляционного гамма-спектрометра-дозиметра были проведены в летний период 2020–2021 гг. в 115 индивидуальных одноэтажных жилых домах в 46 населенных пунктах Брянской области России. По официальным данным, плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в этих населенных пунктах варьировала от 27 до 533 кБк/м². По типу строительных материалов, использованных для возведения стен, обследованные дома были разделены на три группы: деревянные (стены сложены из бревен) – 51 строения, каменные (стены построены из кирпича и/или бетонных панелей) – 34 строения, каркасно-щитовые – 30 строений. Дома последнего типа имели стены, собранные из деревянных щитов с включением теплоизолирующего материала. Снаружи стены щитовых домов были обложены одним слоем силикатного (белого) кирпича. 70 домов были построены до аварии, а 37 – после аварии. В 8 случаях достоверно установить время строительства не удалось. Общая мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы находилась в диапазоне от 42 до 228 нЗв/ч (средняя = 77 нЗв/ч). Значения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от природных радионуклидов варьировали от 27 до 122 нЗв/ч. Средние значения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от природных радионуклидов в группах деревянных, щитовых и каменных домов составили 42, 42 и 58 нЗв/ч соответственно. Различия между каменными и щитовыми домами были статистически значимыми ($P < 0,01$). Также статистически значимыми являлись различия в измеренных мощностях доз между каменными и деревянными домами ($P < 0,01$). Средние значения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs , нормированные на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs , в группах всех деревянных, щитовых и каменных домов равнялись 0,13, 0,16 и 0,05 (нЗв/ч)/(кБк/м²) соответственно. Значения нормализованной мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs в группе каменных домов были статистически значимы ($P < 0,01$) меньше соответствующих значений для групп деревянных домов и щитовых домов. Небольшие различия между щитовыми и деревянными домами также оказались статистически значимы ($P < 0,05$). Медианные и средние величины нормализованной мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs для домов, возведенных до аварии, были меньше, чем таковые для домов, которые были построены после аварии. Эти различия во всех трех группах домов были статистически значимы ($P < 0,01$). Полученные в настоящем исследовании средние величины нормализованной мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs и мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от природных радионуклидов можно использовать для оценки дозы облучения человека в случае его нахождения внутри одноэтажного жилого дома. При этом следует учитывать не только тип строительных материалов, использованных для возведения дома, но и время его строительства: до или после Чернобыльской аварии.

Ключевые слова: жилой дом, Чернобыльская авария, ^{137}Cs , природные радионуклиды, мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы, *in situ*, гамма-спектрометрия.

Введение

Жилой дом, согласно ГОСТ Р 22.11.09-2014¹, является обязательной обследуемой локацией при проведении мониторинга доз внешнего облучения населения на

радиоактивно загрязненных территориях. В настоящее время в населенных пунктах (НП), загрязненных в результате Чернобыльской аварии, основным источником внешнего облучения за счет выпавших вследствие ава-

¹ ГОСТ Р 22.11.09-2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасность жизнедеятельности населения на радиоактивно загрязненных территориях. Мониторинг доз облучения населения. Общие требования. [GOST R 22.11.09-2014. Safety in emergency. Human life safety of population on radioactive nuclide contaminated areas. Monitoring radiation doses. Basic requirements. (In Russ.)]

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

рии радионуклидов является долгоживущий ($T_{1/2} = 30$ лет) ^{137}Cs (в равновесии с $^{137\text{m}}\text{Ba}$) [1].

Для измерения мощности дозы гамма-излучения в воздухе внутри помещений в НП, расположенных в регионах Российской Федерации, которые подверглись радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии, использовали разнообразные устройства и приборы, имевшие в качестве детектора ионизационную камеру, счетчик Гейгера – Мюллера, пропорциональный счетчик, или твердотельные сцинтилляционные и люминесцентные материалы [2–7]. Основной проблемой (сложностью) для интерпретации результатов измерений для оценки чернобыльского компонента гамма-излучения являлся корректный учет вклада от природных источников в общую мощность дозы гамма-излучения, регистрируемую прибором. В соответствии с ГОСТ Р 22.11.09-2014 «для оценки этого вклада необходимо дополнительно проводить измерения с использованием полевых гамма-спектрометров».

Изначально метод полевой (*in situ*) гамма-спектрометрии был разработан для проведения измерений на открытой местности, в частности, на ровных земляных участках [8–10]. Со временем полевые гамма-спектрометры стали нередко применяться для измерения мощности дозы гамма-излучения от природных радионуклидов внутри помещений, включая жилые дома (например, [2, 5, 11, 12]). Хотя для измерений на открытой местности и внутри помещений применяются одни и те же приборы, обработка результатов измерений в каждом случае имеет свои особенности, которые связаны как с геометрией источника излучения, так и с ослабляющими свойствами компонентов окружающей среды в отношении гамма-излучения. В частности, существуют различия в численных значениях коэффициентов связи между измеряемыми и вычисляемыми переменными [13]. На открытой местности источник излучения находится в земле и в качестве поглотителя гамма-излучения выступает воздух. При этом геометрия источника близка к стандартной геометрии 2л. В случае нахождения детектора внутри помещения источник гамма-излучения имеет весьма сложную конфигурацию, которая не соответствует простой геометрии 2л. Часть гамма-излучения проникает снаружи (например, от почвы), а какая-то часть ассоциирована со стенами, полом и другими элементами помещения. При этом стены, пол, потолок и крыша одновременно являются ослабителями излучения, идущего снаружи.

Отметим, что по мере удаления от момента Чернобыльской аварии и неизбежного снижения вклада от ^{137}Cs в общую мощность дозы (вследствие радиоактивного распада и миграции радионуклида в окружающей среде), значение корректной оценки вклада от природных источников возрастает. После разделения природного и техногенного компонентов мощности дозы гамма-излучения в воздухе может быть выполнена корректная оценка компонента эффективной дозы внешнего облучения человека за счет радиоактивного загрязнения (например, [5, 14]).

Одной из перспективных моделей переносных гамма-спектрометров, которые потенциально пригодны для оценки вклада природных (терригенных) радионуклидов (ПРН) в общую мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы ($\text{МАЭД}_{\text{СУМ}}$) гамма-излучения внутри помещений, является

спектрометр-дозиметр МКС АТ6101Д (фирма Атомтех, Беларусь) [15]. В исследованиях, выполненных на радиоактивно загрязненных территориях России и Беларуси, было показано, что МКС АТ6101Д можно использовать для надежной оценки вкладов ПРН и ^{137}Cs в $\text{МАЭД}_{\text{СУМ}}$ для локаций, расположенных вне помещений (луг, лес, огород и улица) [16–18]. При этом никаких других измерительных устройств не требовалось, так как вся необходимая информация могла быть получена на основе анализа гамма-спектра, измеренного *in situ*.

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>] был проведен цикл работ по использованию спектрометра-дозиметра АТ6101Д применительно к оценке мощности дозы гамма-излучения внутри одноэтажных жилых домов. Такие дома имеют повсеместное распространение в сельских населенных пунктах России и Беларуси. Одноэтажные дома также широко представлены в поселках городского типа и в городах юго-западных районов Брянской области. Отметим, что именно одноэтажные жилые дома (как каменные, так и деревянные) традиционно являются объектом мониторинговых исследований для оценки доз облучения населения, проживающего на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС [1, 2, 4, 5, 7].

Цель исследования – дифференциальная оценка вкладов природных радионуклидов и ^{137}Cs в $\text{МАЭД}_{\text{СУМ}}$ и в эффективную дозу внешнего облучения человека внутри одноэтажных жилых домов, расположенных в зоне радиоактивного загрязнения в юго-западных районах Брянской области России.

Задачи исследования

1. На незагрязненных территориях с помощью МКС АТ6101Д определить значение коэффициента перехода от эффективной удельной активности природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$, Бк/кг) к мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от природных радионуклидов ($\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$, нЗв/ч) внутри помещений.

2. На загрязненных территориях выполнить гамма-спектрометрические измерения внутри одноэтажных жилых домов, различающихся типами использованных строительных материалов и временем постройки.

3. Провести обработку измеренных *in situ* гамма-спектров и вычислить $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$ и мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы за счет гамма-излучения от ^{137}Cs (МАЭД_{CS} , нЗв/ч).

4. Вычислить компонент эффективной дозы внешнего облучения взрослого человека при его нахождении внутри жилого дома.

Материалы и методы

Определение значения коэффициента перехода от $A_{\text{эфф}}$ к $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$ с помощью спектрометра-дозиметра АТ6101Д

Подробное описание технических характеристик спектрометра-дозиметра дано на сайте фирмы-производителя Атомтех [15]. МКС АТ6101Д был первично откали-

брован производителем для измерения МАЭД_{сум} и удельной активности ⁴⁰K, ²²⁶Ra и ²³²Th, а также A_{эфф}, в объектах окружающей среды. При этом удельная активность может быть измерена в геометрии 2л или 4л. Дополнительно в 2015–2017 гг. группой исследователей из ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева (Россия) и Лундского университета (Швеция) [16, 17] применительно к условиям выполнения измерений вне помещений было установлено, что между A_{эфф} и МАЭД_{ПРН} существует строгая линейная взаимосвязь.

В местах с очень низким техногенным загрязнением окружающей среды ¹³⁷Cs (плотность загрязнения почвы менее 2 кБк/м², в основном, за счет глобальных выпадений от испытаний ядерного оружия в XX в.) величина МАЭД_{сум} (нЗв/ч) преимущественно обусловлена интенсивностью гамма-излучения от природных радионуклидов, и соответственно, величиной A_{эфф} (Бк/кг). Связь между этими показателями описывается выражением:

$$\text{МАЭД}_{\text{сум}} = \text{КП}_i \times A_{\text{эфф}} + V_i, \quad (1)$$

где КП_i – коэффициент преобразования A_{эфф} в МАЭД_{ПРН} для i-й локации; V_i – собственный шум прибора и его отклик на космическое излучение в i-й локации. Эмпирически установленные средние значения КП_i и V_i для группы локаций, расположенных вне помещений (огород, поле, луг, лес, улица, двор), равны 0,51 (нЗв/ч)/(Бк/кг) и 8 нЗв/ч соответственно [16].

При оценке результатов измерений внутри помещений численные значения КП_i и V_i могут отличаться от тех, которые определены для локаций, расположенных вне помещений. Поэтому нами были выполнены дополнительные измерения спектрометром-дозиметром АТ6101Д внутри жилых и общественных зданий, расположенных за пределами зон радиоактивного загрязнения на территории России (Ленинградская область и г. Санкт-Петербург) и Беларуси (Гродненская область). Для измерений были взяты 6 жилых домов (один каменный (панельный) многоквартирный и 5 деревянных индивидуальных), а также два каменных (кирпичных) многоквартирных строения общественного назначения. Измерения гамма-спектров (всего 16 точек) были проведены внутри 14 отдельных помещений (комнат) в период 2015–2021 гг. в соответствии с методикой, использованной для калибровки МКС АТ6101Д вне помещений [16]. Детектор прибора располагали на треноге на высоте 1 м от пола. Величина МАЭД_{сум} находилась в диапазоне от 47 до 145 нЗв/ч (средняя = 99 нЗв/ч; медиана = 110 нЗв/ч). Значения A_{эфф} варьировали от 69 до 240 Бк/кг (средняя = 160 Бк/кг; медиана = 178 Бк/кг). Соотношение значений A_{эфф} и МАЭД_{сум} графически представлено на рисунке 1, построенном с использованием средств Microsoft Office. Как видно из рисунка 1, связь между независимой переменной A_{эфф} и зависимой переменной МАЭД_{сум} может быть очень хорошо (коэффициент детерминации R² = 0,996) описана линейной функцией:

$$A = a \times B + c, \quad (2)$$

где A – МАЭД_{сум} (нЗв/ч); B – A_{эфф} (Бк/кг). Эмпирический коэффициент a мы интерпретируем как коэффициент преобразования A_{эфф} в МАЭД_{ПРН}, имеющий размерность (нЗв/ч)/(Бк/кг). Эмпирический коэффициент c (размерность нЗв/ч) можно интерпретировать как сумму

значений собственного шума прибора и его отклика на космическое излучение. Представленное выражение аналогично выражению (1), выведенному для условий проведения измерений вне помещений. Различия между двумя группами локаций касаются только абсолютных значений эмпирических коэффициентов. В случае измерений внутри помещений КП_i и V_i равны 0,57 (нЗв/ч)/(Бк/кг) и 7 нЗв/ч соответственно, а при проведении измерений вне помещений эти коэффициенты равны 0,51 (нЗв/ч)/(Бк/кг) и 8 нЗв/ч. Вклад космического излучения в помещениях несколько ниже за счет ослабления стенами и перекрытиями, а вклад гамма-излучения ПРН несколько выше за счет отраженного излучения от стен и перекрытий (альбедный компонент). Отметим, что для унификации представления значений измеренных и вычисленных переменных численные значения эмпирических коэффициентов приведены для всех локаций в геометрии 2л. Неопределенность (95% вероятность) оценок среднего значения КП_i и V_i для локаций внутри помещений составляет 2% и 22% соответственно. Такие же уровни неопределенности (2% и 18%) можно вывести на основании данных [16] для группы локаций, расположенных вне помещений.

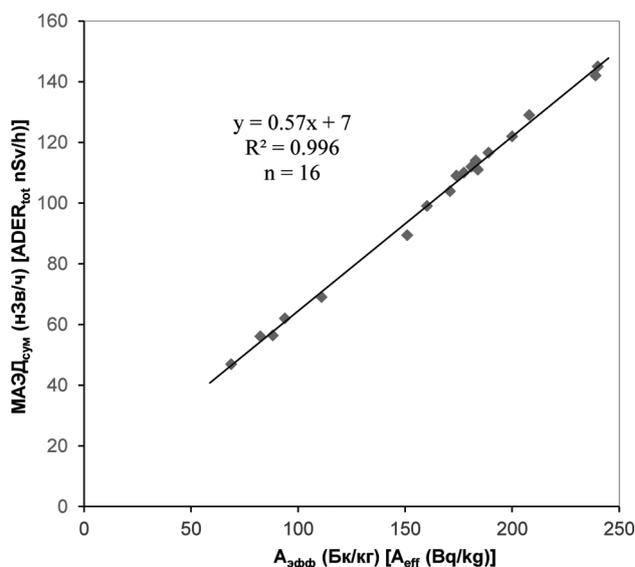


Рис. 1. Соотношение между общей мощностью амбиентного эквивалента дозы в воздухе (МАЭД_{сум}) и эффективной удельной активностью природных радионуклидов (A_{эфф}) внутри жилых и общественных зданий, расположенных вне зоны Чернобыльского загрязнения («фоновые» территории)
[Fig. 1. Relationship between total ambient dose equivalent rate (ADER_{tot}) and effective activity concentration of natural radionuclides (A_{eff}) inside residential and public buildings located outside the Chernobyl contamination zone (“background” territories)]

Условия проведения измерений в Брянской области

Работы в Брянской области были выполнены летом 2020 и 2021 гг. в 46 НП, расположенных в Гордеевском, Злынковском, Климовском, Клинцовском, Красногорском и Новозыбковском районах. Названия НП и средние значения плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs (A_{с-оп}, кБк/м²), вычисленные с учетом поправки на радиоактивный распад на основании официально установленных значений [19] в каждом из этих НП, приведены в нашей предыду-

шей работе [20]. На время выполнения измерений *in situ* значения $A_{\text{Cs-оф}}$ находились в диапазоне от 27 до 533 кБк/м² (средняя = 207 кБк/м²; медиана = 160 кБк/м²).

В общей сложности измерения были проведены внутри 115 частных жилых домов. Количество зданий, обследованных в отдельно взятом НП, варьировало от 1 до 7. Это значение, в основном, зависело от размеров НП: в больших НП было обследовано большее число домов.

По типу строительных материалов, использованных для возведения стен, выборку обследованных домов мы условно разделили на три большие группы: деревянные (стены сложены из бревен) – 51 здание (рис. 2а), каменные (стены построены из кирпича и/или бетонных панелей) – 34 здания (рис. 2б и 2с), и каркасно-щитовые – 30 строений. Дома последнего типа имели стены, собранные из деревянных щитов с включением теплоизолирующего материала. Снаружи стены щитовых домов были обложены одним слоем силикатного (белого) кирпича (рис. 2д).

Чисто внешне те дома, стены которых построены полностью из белого кирпича, были практически неотличимы от щитовых домов (ср. рис. 2с и рис. 2д). Отметим, что во всех случаях для изготовления фундамента в домах был использован неорганический материал: бетон или кирпич. В качестве наружной кровли на крыше домов применяли шиферные (асбесто-цементные) или железные листы. По словам владельцев, 70 домов были построены до аварии, а 37 – после аварии. В 8 случаях достоверно установить время строительства не удалось.

Для проведения измерений дозиметр-спектрометр АТ6101Д размещали на треноге в центре комнаты (рис. 3). Детектор вывешивали вертикально таким образом, чтобы расстояние между центром кристалла детектора и поверхностью пола равнялось 1 м. Продолжительность набора спектра варьировала от 410 до 2570 с (средняя = 737 с). Обработку измеренных гамма-спектров и получение значений $MAЭ_{\text{сум}}$ и $A_{\text{эфф}}$ проводили с помощью программы ATAS-Lite (фирма Атомтех).



Рис. 2. Примеры различных типов жилых домов, расположенных в населенных пунктах Брянской области (фотографии сделаны в июле – августе 2020 г.):

- а – деревянный дом в НП Злынка; стены построены из бревен; фундамент построен из красного кирпича;
- б – стены дома построены из бетонных панелей; НП Малая Топаль;
- с – стены дома построены из белого (силикатного) кирпича; НП Новозыбков;
- д – стены дома построены из деревянных щитов и обложены снаружи слоем белого (силикатного) кирпича; фундамент сложен из красного кирпича; НП Малая Топаль

[Fig. 2. Examples of various types of residential houses located in the settlements of the Bryansk region (the photos were taken in July–August 2020):

- a – a wooden house in settlement Zlynka; the walls are built of logs; the foundation is built of red bricks;
- b – the walls of the house are made of concrete panels; settlement Malaya Topal';
- c – the walls of the house are built of white (silicate) bricks; city of Novozybkov;
- d – the walls of the house are made of wooden boards and lined with a layer of white (silicate) bricks on the outside; the foundation is made of red bricks; settlement Malaya Topal']



Рис. 3. Размещение спектрометра-дозиметра АТ6101Д при проведении гамма-спектрометрических измерений внутри жилого дома; НП Малая Топаль, август 2020 г.

Fig. 3. Placement of the spectrometer-dosimeter AT6101D during gamma spectrometric measurements inside a residential building; settlement Malaya Topal', August 2020]

Для вычисления мощности МАЭД_{Cs} (нЗв/ч) на основании данных полевых измерений, выполненных с помощью МКС АТ6101Д в выбранной точке, и выведенных средних значений эмпирических коэффициентов (выражение 2) мы использовали следующую общую формулу:

$$\text{МАЭД}_{Cs} = \text{МАЭД}_{\text{сум}} - \text{КП}_i \times A_{\text{эфф}} - B_i, \quad (3)$$

где МАЭД_{сум} – общая мощность AMBIENTного эквивалента дозы (нЗв/ч); A_{эфф} – эффективная удельная активность природных радионуклидов (Бк/кг); КП_i – коэффициент преобразования A_{эфф} в МАЭД_{ПРН} (0,57 (нЗв/ч)/(Бк/кг) для помещений); B_i – вклад за счет космического излучения и собственного шума прибора (7 нЗв/ч для помещений).

Вычисление эффективной дозы внешнего облучения

Для вычисления компонента годовой эффективной дозы внешнего облучения (ЭД) взрослого человека, обусловленного его пребыванием внутри жилого дома, использовали следующую формулу:

$$\text{ЭД}_i = \text{МАЭД}_i \times a_i \times b_i \times t_j \times 10^{-6}, \quad (4)$$

где ЭД_i – годовая эффективная доза от гамма-излучения i-го радионуклида, мЗв/год; МАЭД_i – мощность AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения i-го радионуклида, нЗв/ч; a_i – коэффициент перехода от AMBIENTного эквивалента дозы к керме в воздухе для гамма-излучения i-го радионуклида, Гр/Зв; b_i – коэффициент перехода от кермы в воздухе к ЭД для гамма-излучения i-го радионуклида, Зв/Гр; t_j – время нахождения представителя j-й группы населения внутри дома, ч/год; 10⁻⁶ – фактор преобразования нЗв в мЗв.

Значения коэффициентов a_i и b_i приняты равными: для ¹³⁷Cs – 0,68 Гр/Зв и 0,71 Зв/Гр; для природных радионуклидов – 0,8 Гр/Зв и 0,7 Зв/Гр [21–23]. Величина t_j варьирует в зависимости от того, к какой группе населения принадлежит человек, проживающий на радиоактивно-загрязненной территории. По оценкам Golikov et al. [4], наибольшую долю времени (0,68 или 5960 ч в год) в жилых домах находятся пенсионеры, а наименьшую долю (0,47 или 4120 ч в год) – люди, работающие вне помещений. Эти значения получены для сельских НП Брянской области более 20 лет тому назад. К сожалению, более свежих оценок продолжительности времени, которое проводит человек в жилом помещении в Брянской области, нами в доступной литературе не найдено. Поэтому в качестве первого приближения мы использовали для вычислений ЭД значения t_j из работы [4].

Статистическая обработка результатов измерений

Статистический анализ и построение диаграмм проводили с использованием EXCEL для Windows. Кроме того, для вычисления коэффициента корреляции Спирмана (R_{sp}) использовали интернет-платформу свободного доступа [24]. Для определения различий между группами применяли непараметрический U-тест Манна – Уитни [25].

Результаты и обсуждение

Результаты статистического анализа полученных значений МАЭД_{сум}, МАЭД_{ПРН} и МАЭД_{Cs} с представлением медианы, средней величины, стандартного отклонения и коэффициента вариации для всей выборки и отдельно для каждого из трех типов домов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Измеренная мощность AMBIENTного эквивалента дозы от всех источников (МАЭД_{сум}), вычисленная мощность AMBIENTного эквивалента дозы от природных радионуклидов (МАЭД_{ПРН}) и ¹³⁷Cs (МАЭД_{Cs}), и нормализованная мощность AMBIENTного эквивалента дозы от ¹³⁷Cs (МАЭД_{Cs-норм}) в одноэтажных жилых домах в населенных пунктах Брянской области в 2020–2021 гг.

[Table 1

Measured ambient dose equivalent rate from all sources (ADER_{tot}), calculated ambient dose equivalent rate from natural radionuclides (ADER_{NRN}) and ¹³⁷Cs (ADER_{Cs}), and normalized ambient dose equivalent rate from ¹³⁷Cs (ADER_{Cs-norm}) in one-story residential houses in settlements of the Bryansk region in 2020–2021]

Параметр [Parameter]	МАЭД _{сум} (нЗв/ч) [ADER _{tot} (nSv/h)]	МАЭД _{ПРН} (нЗв/ч) [ADER _{NRN} (nSv/h)]	МАЭД _{Cs} (нЗв/ч) [ADER _{Cs} (nSv/h)]	МАЭД _{Cs-норм} (нЗв/ч)/(кБк/м ²)* [ADER _{Cs-norm} (nSv/h)/(kBq/m ²)*]
Все разновидности домов [All types of houses], n = 115				
Минимум [Minimum]	42	27	-2	-0,06
Максимум [Maximum]	228	122	178	1,91
Медиана [Median]	69	43	15	0,08
Средняя [Mean]	77	47	23	0,11

Radiation measurements

Окончание таблицы 1

Параметр [Parameter]	МАЭД _{сум} (нЗв/ч)	МАЭД _{ПРН} (нЗв/ч)	МАЭД _{Сs} (нЗв/ч)	МАЭД _{Сs-норм} (нЗв/ч)/(кБк/м ²)*
	[ADER _{tot} (nSv/h)]	[ADER _{NRN} (nSv/h)]	[ADER _{Сs} (nSv/h)]	[ADER _{Сs-norm} (nSv/h)/(kBq/m ²)*
С.о. [SD]	30	14	31	0,19
КВ (%) [CV (%)]	39	31	134	170
Деревянные дома [Wooden houses], n = 51				
Минимум [Minimum]	45	27	-1	-0,05
Максимум [Maximum]	228	59	178	1,91
Медиана [Median]	69	41	20	0,09
Средняя [Mean]	79	42	30	0,13
С.о. [SD]	34	8	35	0,26
КВ (%) [CV (%)]	43	19	116	200
Щитовые дома, обложенные кирпичом [Frame-panel houses lined with bricks], n = 30				
Минимум [Minimum]	47	28	1	0,02
Максимум [Maximum]	185	65	140	0,49
Медиана [Median]	70	40	19	0,14
Средняя [Mean]	81	42	32	0,16
С.о. [SD]	33	9	35	0,12
КВ (%) [CV (%)]	41	22	108	78
Кирпичные и панельные дома [Brick and panel houses], n = 34				
Минимум [Minimum]	42	31	-2	-0,06
Максимум [Maximum]	130	122	23	0,29
Медиана [Median]	71	60	4	0,03
Средняя [Mean]	71	58	7	0,05
С.о. [SD]	18	19	6	0,06
КВ (%) [CV (%)]	26	33	99	131

* – приведено на официально установленное значение средней плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs [19] в населенном пункте в текущем году [* – normalized to officially established value of the density of soil contamination with ¹³⁷Cs [19] in a settlement in current year]. С.о. – стандартное отклонение [SD – standard deviation]; КВ – коэффициент вариации (%) [CV – coefficient of variation (%)].

Для объединенной выборки жилых домов всех типов (n = 115) значения МАЭД_{сум} находились в диапазоне от 42 до 228 нЗв/ч (средняя = 77 нЗв/ч). Статистическая неопределенность измерения МАЭД_{сум} во всех случаях не превышала 2% с 95% вероятностью.

Значения МАЭД_{ПРН} варьировали от 27 до 122 нЗв/ч. Средние значения МАЭД_{ПРН} в группах деревянных и щитовых домов оказались одинаковыми (по 42 нЗв/ч). МАЭД_{ПРН} была заметно больше в каменных домах (средняя = 58 нЗв/ч) по сравнению с деревянными и щитовыми домами. Различия между каменными и щитовыми домами были статистически значимыми (тест Манна – Уитни, P < 0,01). Такие же различия были определены между каменными и деревянными домами (P < 0,01).

Вычисленные значения МАЭД_{Сs} в жилых домах (n = 115) варьировали от -2 до 178 нЗв/ч. Вклад МАЭД_{Сs} в МАЭД_{сум} находился в диапазоне от -5 до 79% при средней величине 20%. Присутствие значений с отрицательным знаком можно объяснить условиями вычисления МАЭД_{Сs}, основанными на вычитании из МАЭД_{сум} величины МАЭД_{ПРН} (выражение 3). В отличие от МАЭД_{сум}, ста-

тистическая неопределенность измерений которой не превышала 2%, значения МАЭД_{ПРН} имели намного более существенную неопределенность. Средняя статистическая неопределенность измерения А_{эфф} и, соответственно, МАЭД_{ПРН} была равна 11% (диапазон 8–15%) при 95% вероятности. Поэтому при низких истинных уровнях техногенного компонента (10 нЗв/ч и менее) его оценка (результаты вычислений) вполне может иметь отрицательный знак (манифестированная заниженная оценка). При этом следует учитывать и существование обратной ситуации, при которой в каких-то наблюдениях оценка техногенного компонента будет завышена. В нашей выборке из 115 домов пренебрежимо малые отрицательные значения МАЭД_{Сs} (диапазон -(1–2) нЗв/ч) были вычислены всего для 4 случаев. Заниженные оценки нивелировались при вычислении среднего и медианного значения по достаточно большой выборке (115 наблюдений; средняя = 23 нЗв/ч; медиана = 15 нЗв/ч).

Весьма выраженная вариабельность МАЭД_{Сs} внутри домов в определенной степени была связана со значительным разбросом значений загрязнения территории

населенных пунктов ^{137}Cs (27–533 кБк/м²). Коэффициент корреляции Спирмена для пары $\text{МАЭД}_{\text{Cs}}/A_{\text{Cs-оф}}$ имел положительный знак и был равен 0,39. Корреляция была слабой, однако статистически значимой ($P < 0,01$). Графически это соотношение между двумя переменными представлено на рисунке 4. Для дальнейшего анализа мы будем использовать значение МАЭД_{Cs} , нормализованное на среднюю плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в том НП, где проводилось измерение ($\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$, (нЗв/ч)/(кБк/м²)).

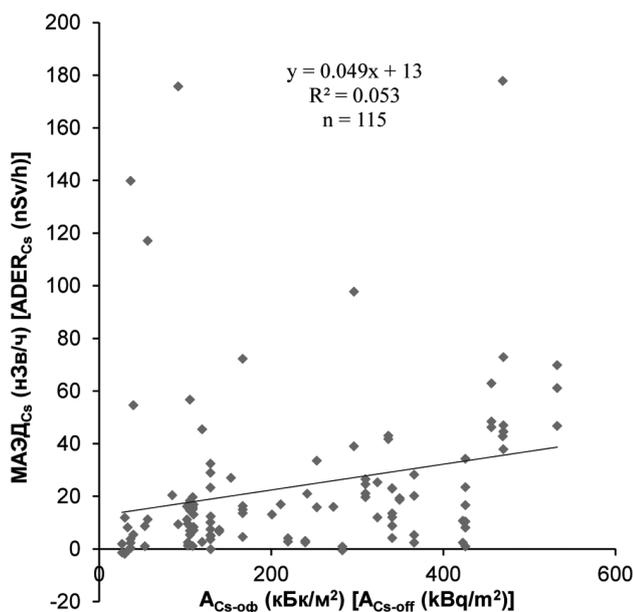


Рис. 4. Соотношение между МАЭД_{Cs} внутри одноэтажного жилого дома и $A_{\text{Cs-оф}}$ в населенном пункте. Юго-западные районы Брянской области, 2020–2021 гг.

[Fig. 4. Relationship between ADER_{Cs} inside one-story residential house and $A_{\text{Cs-off}}$ in settlement. The south-west districts of the Bryansk region, 2020–2021]

Разброс вычисленных значений $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ внутри домов был также очень широким: от -0,06 до 1,91 (нЗв/ч)/(кБк/м²) (см. табл. 1). В определенной мере эта вариабельность была связана с различиями между типами домов по поглощающим свойствам стен в отношении гамма-излучения, проникающего внутрь дома от внешнего источника (например, почва, загрязненная ^{137}Cs , на огородах). Значения $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ в группе каменных домов было статистически значимо ($P < 0,01$) меньше соответствующих значений для группы деревянных домов и щитовых домов. Небольшие различия между щитовыми и деревянными домами также оказались статистически значимыми ($P < 0,05$).

Результаты статистической обработки значений $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$, распределенных в зависимости от времени постройки дома, приведены в таблице 2. Из таблицы 2 видно, что медианные и средние значения $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ для домов, возведенных до аварии, были меньше, чем таковые для домов, которые были построены уже после аварии. Эти различия во всех трех группах были статистически значимы ($P < 0,01$). Отметим, что после разделения выборок домов по времени постройки коэффициент вариации $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ в большинстве подгрупп заметно уменьшился (см. табл. 1 и 2).

Ранее в процессе дезактивационных работ, выполненных на территории Брянской области [2, 3, 26, 27], было установлено, что в жилых домах, построенных до аварии, основным источником техногенного гамма-излучения являлась радиоактивно-загрязненная почва вокруг зданий. Определенный вклад вносили также радионуклиды, отложившиеся на кровле крыши и наружной поверхности стен здания. Сопоставление полевых гамма-спектров (примеры даны на рисунке 5) и значений $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ в зависимости от времени постройки (см. табл. 2) показывает, что в нашей выборке домов (или в какой-то части из нее), построенных уже после аварии, существует дополнительный источник (источники) тех-

Таблица 2

Нормализованная мощность AMBIENTного эквивалента дозы от ^{137}Cs ($\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$) в одноэтажных жилых домах, построенных до или после Чернобыльской аварии. Населенные пункты Брянской области, 2020–2021 гг.

[Table 2

Normalized ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs ($\text{ADER}_{\text{Cs-norm}}$) in one-story residential houses constructed before or after the Chernobyl accident. Settlements of the Bryansk region, 2020–2021]

Параметр [Parameter]	$\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ (нЗв/ч)/(кБк/м ²)* [$\text{ADER}_{\text{Cs-norm}}$ (нSv/h)/(kBq/m ²)*					
	Деревянные дома [Wooden houses]		Щитовые дома, обложенные кирпичом [Frame-panel houses lined with bricks]		Кирпичные и панельные дома [Brick and panel houses]	
	до [before]	после [after]	до [before]	после [after]	до [before]	после [after]
Минимум [Minimum]	-0,05	0,38	0,02	0,02	-0,06	0,01
Максимум [Maximum]	0,24	1,91	0,10	0,49	0,09	0,29
Медиана [Median]	0,08	1,14	0,05	0,17	0,01	0,05
Средняя [Mean]	0,09	1,14	0,05	0,20	0,02	0,08
С.о. [SD]	0,05	н.в. [n.c.]	0,03	0,12	0,04	0,07
КВ (%) [CV (%)]	53	н.в. [n.c.]	58	59	156	88
n	42	2	7	22	21	13

* – приведено на официально установленное значение средней плотности загрязнения почвы ^{137}Cs [19] в населенном пункте в текущем году [* – normalized to officially established value of the density of soil contamination with ^{137}Cs [19] in a settlement in current year]. С.о. – стандартное отклонение [SD – standard deviation]; КВ – коэффициент вариации [CV – coefficient of variation]; n – число строений [n – number of buildings]; н.в. – не вычислялось [n.c. – not calculated].

ногенного излучения. Мощность этого источника может быть весьма существенной. В частности, максимальное значение $МАЭД_{Cs-норм}$ ($1,91$ (нЗв/ч)/(кБк/м²)), полученное для одного из деревянных домов (п. Непобедимый, Красногорский район), превышало максимальную величину $МАЭД_{Cs-норм}$ ($1,45$ (нЗв/ч)/(кБк/м²)) для 115 огородов, обследованных параллельно с домами [20]. Это, на первый взгляд, является парадоксом. Такая ситуация может быть объяснена следующим образом. Строительство дома в п. Непобедимый проходило в период аварии на ЧАЭС и вскоре после нее (в 1986–1987 гг.). По словам хозяина дома (он же его и возводил), в строительстве могли использоваться (и, скорее всего, использовались) радиоактивно-загрязненные материалы, в частности, древесина из зоны радиоактивного загрязнения и мох из местных болот. Специальной подготовки (дезактизации) земляной площадки перед возведением дома сделано не было. Поэтому логично допустить, что ^{137}Cs , присутствовавший в конструкционных элементах самого дома и в почве под ним, являлся основным источником гамма-излучения. Для подтверждения этого предположения нами был обследован соседний, тоже деревянный дом, построенный задолго до аварии и принадлежащий тому же хозяину, что и новый дом. Величина $МАЭД_{Cs-норм}$ для старого дома равнялась всего $0,10$ (нЗв/ч)/(кБк/м²), т.е. была в 19 раз меньше по сравнению с таковой для нового дома. При этом значения $МАЭД_{Cs-норм}$ на огородах, прилегающих к новому и старому домам, были практически одинаковыми: $0,44$ (нЗв/ч)/(кБк/м²) и $0,54$ (нЗв/ч)/(кБк/м²) соответственно. При возведении еще одного деревянного дома (д. Ширяевка, Гордеевский район), построенного после аварии, также использовали местные органические мате-

риалы, которые могли быть загрязнены радионуклидами цезия. По словам владельцев дома, никакой специальной подготовки территории (дезактизации участка) перед строительством не проводилось. Величина $МАЭД_{Cs-норм}$ ($0,38$ (нЗв/ч)/(кБк/м²)) внутри этого дома была в 4 раза больше, по сравнению со значением $0,09$ (нЗв/ч)/(кБк/м²), определенным для деревянного дома доаварийной постройки из того же населенного пункта.

Для щитовых и каменных домов, построенных после аварии, вероятность использования радиоактивно-загрязненных строительных материалов, по нашему мнению, невелика. В этой ситуации, так же, как и для домов, построенных до аварии, вполне определенным источником техногенного гамма-излучения являются радионуклиды в объектах окружающей среды снаружи дома. Вместе с тем, дополнительным источником излучения для каменных и щитовых домов, построенных после аварии, в части случаев, по-видимому, является ^{137}Cs в почве под домами. Этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании.

Вычисленные с использованием выражения (4) значения годовой ЭД, формирующейся при нахождении взрослого человека внутри жилого дома из числа тех, которые были обследованы нами в 2020–2021 гг. в Брянской области, варьировали от $0,06$ до $0,41$ мЗв/год для природных радионуклидов и от $< 0,01$ до $0,51$ мЗв/год для ^{137}Cs . В таблице 3 приведены средние значения годовой ЭД для пенсионеров – группы населения, наиболее облучаемой внутри жилого дома (за счет максимальной продолжительности пребывания в помещении). Как видно из таблицы 3, в среднем для всех типов домов в обследованных НП эффективная доза от природных радионуклидов до-

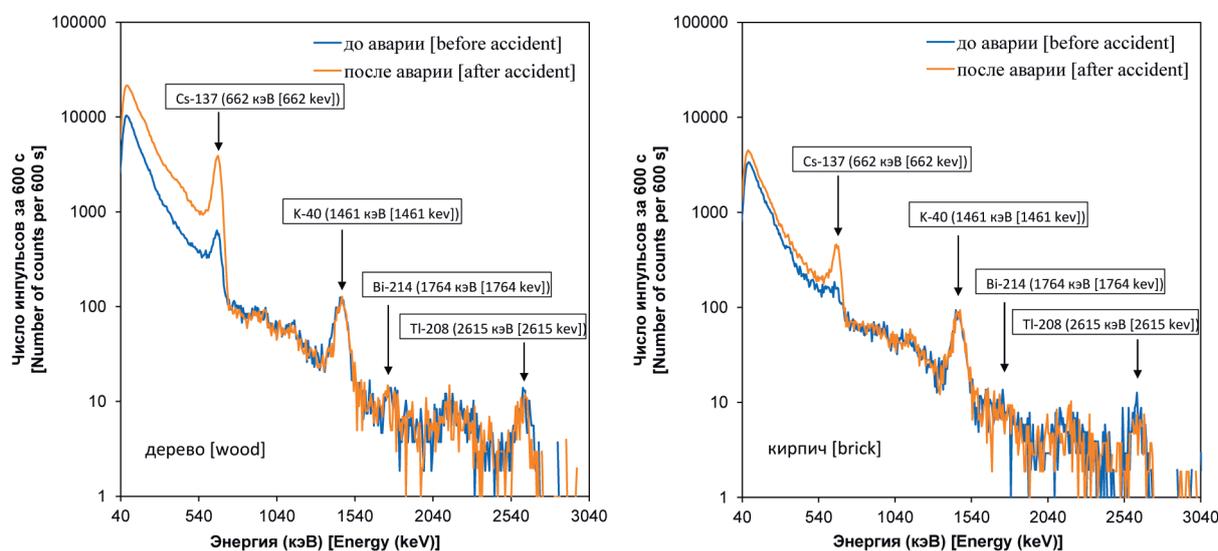


Рис. 5. Гамма-спектры, измеренные с использованием МКС АТ6101Д внутри одноэтажных жилых домов, которые были построены до или после Чернобыльской аварии в населенных пунктах Ширяевка (панель слева, два деревянных дома, август 2021 г.) и Новозыбков (панель справа, два кирпичных дома, август 2020 г.). Стрелки указывают положения пиков антропогенного радионуклида ^{137}Cs , а также природных радионуклидов ^{214}Bi (семейство ^{226}Ra), ^{208}Tl (семейство ^{232}Th) и ^{40}K . Можно видеть отчетливую разницу в высоте пика ^{137}Cs между домами, построенными до и после аварии

[Fig. 5. *In situ* gamma-ray spectra recorded with MKS AT6101D inside the residential one-story houses that had been built before or after the Chernobyl accident in the settlements Shiraevka (the left panel, two wooden houses, August 2021) and Novozybkov (the right panel, two brick houses, August 2020). The arrows show positions of peaks associated with the anthropogenic radionuclide ^{137}Cs and the natural radionuclides ^{214}Bi (^{226}Ra series), ^{208}Tl (^{232}Th series) and ^{40}K . One can see a distinct difference in the heights of the ^{137}Cs peak between the houses built before and after the accident]

минировала над дозой от ^{137}Cs ; для каменных домов эти различия были наиболее выраженными. Для группы людей, работающих вне помещений, т.е. для тех лиц, которые проводят наименьшую долю времени внутри жилых домов, значения годовой ЭД будут на 30% меньше тех, которые представлены в таблице 3.

Полученные в настоящем исследовании средние значения $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$ и нормализованной МАЭД_{CS} можно использовать для оценки ЭД, формирующейся при нахождении человека внутри жилого дома применительно не только к обследованным, но и к другим населенным пунктам, отнесенным к зонам радиоактивного загрязнения в Брянской области. Для оценки годовой дозы от природных радионуклидов ($\text{ЭД}_{\text{ПРН}}$, мЗв/год) используем выражение (4) и величину $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$, равную среднему значению $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$, которое было определено в нашей работе для конкретной группы домов (см. табл. 1). Для вычисления годовой дозы от ^{137}Cs (ЭД_{CS} , мЗв/год) следует применить формулу, включающую величину средней плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ($A_{\text{CS-оф}}$, кБк/м²), официально установленную для конкретного НП в текущем году:

$$\text{ЭД}_{\text{CS}} = \text{МАЭД}_{\text{CS-норм-к}} \times a_{\text{CS}} \times b_{\text{CS}} \times t_j \times 10^{-6} \times A_{\text{CS-оф}}, \quad (4)$$

где $\text{МАЭД}_{\text{CS-норм-к}}$ – среднее значение $\text{МАЭД}_{\text{CS-норм}}$ для k -й группы домов, (нЗв/ч)/(кБк/м²) (см. табл. 1 и 2); a_{CS} – коэффициент перехода от AMBIENTного эквивалента дозы к керме в воздухе для ^{137}Cs (0,68 Гр/Зв) [21]; b_{CS} – коэффициент перехода от кермы в воздухе к мощности эффективной дозы для ^{137}Cs (0,71 Зв/Гр) [23]; t_j – время пребывания представителя j -й группы населения внутри жилого дома; 10^{-6} – коэффициент конверсии нЗв в мЗв.

Для примера дадим оценку годовой ЭД для взрослого человека (пенсионера) за время его пребывания внутри жилого дома в населенном пункте, имеющем текущую плотность загрязнения почвы ^{137}Cs , равную 555 кБк/м² (15 Ки/км², нижняя граница зоны отселения). Для людей, проживающих в деревянных, щитовых и каменных домах, $\text{ЭД}_{\text{ПРН}}$ будет равна 0,14, 0,14 и 0,19 мЗв/год соответственно. ЭД_{CS} составит, соответственно, 0,21, 0,26 и 0,08 мЗв/год. Таким образом, даже при столь высоких уровнях радиоактивного загрязнения дозы внешнего облучения человека внутри жилого дома от ^{137}Cs и природных радионуклидов в настоящее время уже сопоставимы между собой. Среди 3 групп домов наибольшая средняя суммарная

доза облучения (от ^{137}Cs и природных радионуклидов) была оценена для щитовых домов (0,40 мЗв/год). Это несколько меньше, чем максимальное значение суммарной дозы внешнего облучения (0,46 мЗв/год), оцененное для случая проживания человека (пенсионера) в панельном жилом доме ($\text{МАЭД}_{\text{СУМ}} = 145$ нЗв/ч) из нашей «фоновой» выборки, которая была использована для определения коэффициента перехода от $A_{\text{эфф}}$ к мощности $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$.

Заключение

В процессе выполнения работы с помощью портативного спектрометра-дозиметра АТ6101Д было экспериментально определено значение коэффициента перехода от эффективной удельной активности природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) к мощности AMBIENTного эквивалента дозы от природных радионуклидов ($\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$) внутри помещений.

Использование МКС АТ6101Д с учетом полученного значения коэффициента перехода от $A_{\text{эфф}}$ к $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$ позволило определить вклады природных радионуклидов и ^{137}Cs в общую мощность AMBIENTного эквивалента дозы ($\text{МАЭД}_{\text{СУМ}}$) внутри 115 одноэтажных жилых домов, которые расположены в 46 населенных пунктах, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения в юго-западных районах Брянской области после аварии на ЧАЭС. Для периода 2020–2021 гг. показано, что в среднем вклад ^{137}Cs в $\text{МАЭД}_{\text{СУМ}}$ составляет 20% при максимальном значении 79%. Изучена зависимость между МАЭД_{CS} и официально установленной плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в населенном пункте ($A_{\text{CS-оф}}$). Корреляция между этими переменными была слабой ($R_{\text{сп}} = 0,39$), однако статистически значимой ($P < 0,01$). Показано, что МАЭД_{CS} , нормализованное на $A_{\text{CS-оф}}$ ($\text{МАЭД}_{\text{CS-норм}}$), зависит как от типа строительных материалов, использованных для возведения стен дома, так и от времени постройки дома. Максимальные значения $\text{МАЭД}_{\text{CS-норм}}$ были определены для деревянных и каркасно-щитовых домов, построенных после аварии на ЧАЭС, а минимальные – для каменных домов, построенных до аварии.

Оцененные значения годовой эффективной дозы внешнего облучения, формирующейся при нахождении взрослого человека внутри жилого дома из числа тех, которые были обследованы нами в 2020–2021 гг. в Брянской области, варьировали от 0,06 до 0,41 мЗв/год для природных радионуклидов и от < 0,01 до 0,51 мЗв/год для ^{137}Cs .

Таблица 3

Средняя годовая эффективная доза внешнего облучения человека (группа пенсионеров) внутри одноэтажного жилого дома от природных радионуклидов ($\text{ЭД}_{\text{ПРН}}$) и ^{137}Cs (ЭД_{CS}). Оценки представлены для выборки из 115 домов, обследованных в Брянской области в 2020–2021 гг. Продолжительность пребывания человека внутри дома равна 5960 ч

[Table 3

The average annual effective dose of external exposure to a person (the group of pensioners) inside a one-story residential house from natural radionuclides (ED_{NRN}) and ^{137}Cs (ED_{CS}). The estimates are provided for the sample of 115 houses surveyed in the Bryansk region in 2020-2021. The duration of the person stay inside the house is 5960 hours]

Локация [Location]	$\text{ЭД}_{\text{ПРН}}$ (мЗв/год) [ED_{NRN} (mSv/year)]	ЭД_{CS} (мЗв/год) [ED_{CS} (mSv/year)]
Деревянные дома [Wooden houses]	0,14	0,086
Щитовые дома, обложенные кирпичом [Frame-panel houses lined with bricks]	0,14	0,092
Кирпичные и панельные дома [Brick and panel houses]	0,19	0,020

Полученные в нашем исследовании средние значения МАЭД_{ПРН} и МАЭД_{Сs-норм} можно использовать для оценки текущих доз внешнего облучения человека при его нахождении внутри одноэтажного жилого дома в Брянской области. При этом следует учитывать как тип дома (деревянный, щитовой, каменный), так и время возведения строения – до аварии или после аварии.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Персональное участие авторов

В.П. Рамзаев провел полевые измерения, выполнил обработку гамма-спектров, написал черновик рукописи и представил окончательный вариант статьи в редакцию журнала.

А.Н. Барковский осуществил общее руководство выполнением работ, обеспечил привлечение финансирования, проанализировал данные и отредактировал промежуточный вариант статьи.

А.А. Братилова организовала проведение исследований в Брянской области и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Благодарность

Авторы благодарны А.Б. Братилову за помощь при проведении полевых исследований. Авторы выражают глубокую признательность двум рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации, позволившие значительно улучшить качество рукописи.

Источники финансирования

Финансирование работы осуществлялось по контракту № 0173100001419000019 с Роспотребнадзором.

Литература

- Голиков В.Ю. Дозиметрия внешнего облучения населения: сравнение аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2020. Т.13, № 1. С. 27–37.
- Roed J., Lange C., Andersson K.G., et al. Decontamination in a Russian settlement. RISØ National Laboratory report Risø-R-870 (EN). RISØ National Laboratory, Roskilde, Denmark. 1996.
- Roed J., Andersson K.G., Barkovsky A.N., et al. Mechanical decontamination tests in areas affected by the Chernobyl accident. RISØ National Laboratory report Risø-R-1029 (EN). RISØ National Laboratory, Roskilde, Denmark. 1998.
- Golikov V., Balonov M.I., Jacob P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident // Radiation and Environmental Biophysics. 2002. Vol. 41. P. 185–193.
- 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.
- Bernhardsson C., Hörnlund M., Vodovatov A., Mattsson S. Variation in gamma dose rate in different locations following the Chernobyl accident. In D. Adliene (Ed.). Medical Physics in the Baltic States: Proceedings of the 11th International Conference on Medical Physics. 2013. P. 127–130. Kaunas University of Technology Press. URL: <http://www.medphys.lt/medphys2013/> (Дата обращения 30.01.2022).
- Golikov V.Yu. Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobyl accident // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2018. Vol. 11, No. 4. P. 39–50.
- Beck H.L., Condon W.J., Lowder W.M. Spectrometric techniques for measuring environmental gamma radiation. Health and Safety Laboratory New York Operations Office. AEC New York, New York. 1964.
- Beck H.L., DeCampo J., Gogolak C. In situ Ge (Li) and NaI (TI) gamma-ray spectrometry. USDOE Report HASL-258. 1972.
- ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements. Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ICRU report: 53, Bethesda, Maryland, USA. 1994.
- Clouvas A., Xanthos S., Antonopoulos-Domis M. Extended survey of indoor and outdoor terrestrial gamma radiation in Greek urban areas by in situ gamma spectrometry with a portable Ge detector // Radiation Protection Dosimetry. 2001. Vol. 94, No. 3. P. 233–246.
- Cinar H., Altundas S. A preliminary indoor gamma-ray measurements in some of the buildings at Karadeniz Technical University (Trabzon, Turkey) Campus Area // Eastern Anatolian Journal of Science. 2015. Vol. 1, No. 1. P. 10–19.
- Svoukis E., Tsertous H. Indoor and outdoor *in situ* high-resolution gamma radiation measurements in urban areas of Cyprus // Radiation Protection Dosimetry. 2007. Vol. 123, No. 3. P. 384–390.
- Ogura K., Hosoda M., Tamakuma Y., et al. Discriminative measurement of absorbed dose rates in air from natural and artificial radionuclides in Namie Town, Fukushima Prefecture // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18. P. 978.
- ATOMTEX. Спектрометр МКС АТ6101ДР. URL: <https://atomtex.com/ru/spektrometr-mks-at6101dr> (Дата обращения: 17.03.2022).
- 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 ¹³⁷Cs 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 ¹³⁷Cs 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.
- 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.
- Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А. Мощность амбиентного эквивалента дозы и плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs на огородах в населенных пунктах Брянской области России в 2020–2021 гг. // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 85–95.
- Ramzaev V.P., Barkovsky A.N. On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case of large-scale contamination of the environment by radioactive cesium // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2015. Vol. 8, No. 3. P. 6–20.
- UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York. 2000.

23. Golikov V., Wallström E., Wöhni T., et al. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms // *Radiation and Environmental Biophysics*. 2007. Vol. 46. P. 375–382.
24. Wessa P. Spearman Rank Correlation (v1.0.3) in Free Statistics Software (v1.2.1). Office for Research Development and Education. 2017. URL: https://www.wessa.net/rwasp_spearman.wasp (Дата обращения 30.01.2022).
25. Автоматический расчет U-критерия Манна-Уитни. URL: https://www.psychol-ok.ru/statistics/mann-whitney/mann-whitney_02.html (Дата обращения 30.01.2022).
26. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Пархоменко В.И., Пономарев А.В. Дезактивация населенных пунктов Брянской области после аварии на Чернобыльской АЭС // *Радиационная гигиена*. 2014. Т. 7, № 1. С. 5–15.
27. Ramzaev V., Barkovsky A., Mishine A., Andersson K.G. Decontamination tests in the recreational areas affected by the Chernobyl accident: efficiency of decontamination and long-term stability of the effects // *Journal of the Society for Remediation of Radioactive Contamination in the Environment*. 2013. Vol. 1, No. 2. P. 93–107.

Поступила: 06.04.2022 г.

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. Мощность амбиентного эквивалента дозы от ^{137}Cs и природных радионуклидов в одноэтажных жилых домах в населенных пунктах Брянской области в 2020–2021 гг. // *Радиационная гигиена*. 2022. Т. 15, № 2. С. 95–107. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-95-107

Ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs and natural radionuclides in one-story residential buildings in settlements of the Bryansk region in 2020–2021

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 Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

Method of in situ gamma-ray spectrometry was used to discriminate contributions of ^{137}Cs and natural radionuclides to ambient dose equivalent rate indoors in settlements located in the zones of radioactive contamination after the Chernobyl accident. The measurements using a portable scintillation gamma spectrometer-dosimeter were carried out in 115 individual one-story residential buildings in 46 settlements of the Bryansk region of Russia in the summer period of 2020–2021. According to official data, the average density of soil contamination with ^{137}Cs in the settlements ranged from 27 to 533 kBq/m². Based on the type of building materials that had been used to construct the walls, the surveyed houses were divided into three large groups: wooden (walls made of logs) – 51 buildings, stone (walls built of bricks and/or concrete panels) – 34 buildings, and frame-panel – 30 buildings. The latter had walls constructed of wooden panels with the inclusion of heat-insulating material. Outside, the walls of the frame-panel houses were lined with a layer of silicate (white) bricks. 70 houses were built before the accident and 37 – after the accident. In eight cases it was not

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

possible to reliably estimate the period of construction. The total ambient dose equivalent rate ranged from 42 to 228 nSv/h (average = 77 nSv/h). The values of the ambient dose equivalent rate from natural radionuclides were in the range 27–122 nSv/h. The average values of the ambient dose equivalent rate from natural radionuclides in the groups of wooden, frame-panel, and stone houses were 42, 42 and 58 nSv/h, respectively. The difference between stone houses and panel houses was statistically significant ($P < 0.01$). The same difference was found between stone houses and wooden houses ($P < 0.01$). The average values of the ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs , normalized to the density of soil contamination with ^{137}Cs , were 0.13, 0.16, and 0.05 (nSv/h)/(kBq/m²) in wooden, frame-panel, and stone houses, respectively. The normalized ambient dose equivalent rates from ^{137}Cs in the group of stone houses were statistically significantly ($P < 0.01$) lower compared to the corresponding values for the groups of wooden houses and frame-panel houses. The small differences between frame-panel and wooden houses turned out to be statistically significant ($P < 0.05$). The median and mean values of the normalized ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs for houses built before the accident were lower compared to those for houses built after the accident. These differences were statistically significant ($P < 0.01$) for all groups of houses. The mean values of the normalized ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs and the ambient dose equivalent rate from natural radionuclides obtained in this study can be used to estimate the external effective dose to a person staying inside a one-story residential building. In this case, one should take into account not only the type of building materials used to construct the house, but also the time period of the construction: before or after the Chernobyl accident.

Key words: residential building, Chernobyl accident, ^{137}Cs , natural radionuclides, ambient dose equivalent rate, *in situ*, gamma-ray spectrometry.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Personal participation of authors

V.P. Ramzaev conducted field measurements, processed gamma spectra, wrote a draft of the manuscript and submitted the final version of the article to the editors of the journal.

A.N. Barkovsky provided overall direction for the work, secured funding, analyzed the data, and edited the interim version of the article.

A.A. Bratilova organized research in the Bryansk region and edited an intermediate version of the article.

Acknowledgments

The authors are grateful to A.B. Bratilov for help with field survey. The authors express their deep gratitude to two reviewers for constructive comments and recommendations, which significantly improved the quality of the manuscript.

Sources of funding

The work was financed under contract No. 0173100001419000019 with Rospotrebnadzor.

References

- Golikov VYu. Dosimetry of external population exposure: a comparison of the Chernobyl and Fukushima accidents. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(1): 27–37. (In Russian)
- Roed J, Lange C, Andersson KG, Prip H, Olsen S, Ramzaev VP, et al. Decontamination in a Russian settlement. RISØ National Laboratory report Risø-R-870 (EN). RISØ National Laboratory, Roskilde, Denmark. 1996.
- Roed J, Andersson KG, Barkovsky AN, Fogh CL, Mishine AS, Olsen S, et al. Mechanical decontamination tests in areas affected by the Chernobyl accident. RISØ National Laboratory report Risø-R-1029 (EN). RISØ National Laboratory, Roskilde, Denmark. 1998.
- Golikov V, Balonov MI, Jacob P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2002;41: 185–193.
- Ramzaev V, Yonehara H, Hille R, Barkovsky A, Mishine A, Sahoo S, et al. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in Bryansk region, Russia in 1996–2003. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006;85: 205–227.
- Bernhardsson C, Hörnlund M, Vodovatov A, Mattsson S. Variation in gamma dose rate in different locations following the Chernobyl accident. In D. Adliene (Ed.), *Medical Physics in the Baltic States: Proceedings of the 11th International Conference on Medical Physics*. 2013. P. 127–130. Kaunas University of Technology Press. Available on: <http://www.medphys.lt/medphys2013/> (Accessed 30 January 2022).
- Golikov VYu. Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(4): 39–50.
- Beck HL, Condon WJ, Lowder WM. Spectrometric techniques for measuring environmental gamma radiation. Health and Safety Laboratory New York Operations Office. AEC New York, New York. 1964.
- Beck HL, DeCampo J, Gogolak C. *In situ* Ge(Li) and NaI(Tl) gamma-ray spectrometry. USDOE Report HASL-258. 1972.
- ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements. *Gamma-Ray Spectrometry in the Environment*. ICRU report: 53, Bethesda, Maryland, USA. 1994.
- Clouvas A, Xanthos S, Antonopoulos-Domis M. Extended survey of indoor and outdoor terrestrial gamma radiation in Greek urban areas by *in situ* gamma spectrometry with a portable Ge detector. *Radiation Protection Dosimetry*. 2001;94(3): 233–246.
- Cinar H, Altundas S. A preliminary indoor gamma-ray measurements in some of the buildings at Karadeniz Technical University (Trabzon, Turkey) Campus Area. *Eastern Anatolian Journal of Science*. 2015;1(1): 10–19.
- Svoukis E, Tsertous H. Indoor and outdoor *in situ* high-resolution gamma radiation measurements in urban areas of Cyprus. *Radiation Protection Dosimetry*. 2007;123(3): 384–390.
- Ogura K, Hosoda M, Tamakuma Y, Suzuki T, Yamada R, Negami R, et al. Discriminative measurement of absorbed dose rates in air from natural and artificial radionuclides in Namie Town, Fukushima Prefecture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18: 978.
- ATOMTEX. Spectrometer AT6101DR. Available on: <https://atomtex.com/en/at6101dr-spectrometer>. (Accessed 17 March 2022). (In Russian)
- Ramzaev V, Barkovsky A, Bernhardsson C, Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radio-

- nuclides and ^{137}Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 18–29.
17. 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.
 18. 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.
 19. 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).
 20. Ramzaev VP, Barkovsky AN, Bratilova AA. Ambient dose equivalent rate and soil contamination density with ^{137}Cs in kitchen gardens in settlements of the Bryansk region, Russia in 2020–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(4): 85–95. (In Russian).
 21. Ramzaev VP, Barkovsky AN. On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case of large-scale contamination of the environment by radioactive cesium. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3): 6–20.
 22. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York. 2000.
 23. Golikov V, Wallström E, Wöhni T, Tanaka K, Endo S, Hoshi M. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2007;46: 375–382.
 24. Wessa P. Spearman Rank Correlation (v1.0.3) in Free Statistics Software (v1.2.1). Office for Research Development and Education. 2017. Available on: https://www.wessa.net/rwasp_spearman.wasp (Accessed 30 January 2022).
 25. Automatic calculation of the Mann-Whitney U-test. Available on: https://www.psychol-ok.ru/statistics/mann-whitney/mann-whitney_02.html (Accessed 30 January 2022). (In Russian).
 26. Balonov MI, Golikov Vy, Parkhomenko VI, Ponomarev AV. Decontamination of localities in the Bryansk region after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(1): 5–15. (In Russian).
 27. Ramzaev V, Barkovsky A, Mishine A, Andersson KG. Decontamination tests in the recreational areas affected by the Chernobyl accident: efficiency of decontamination and long-term stability of the effects. *Journal of the Society for Remediation of Radioactive Contamination in the Environment*. 2013;1(2): 93–107.

Received: April 06, 2022

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 Wellbeing (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 Wellbeing, 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 Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Bratilova A.A. Ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs and natural radionuclides in one-story residential buildings in settlements of the Bryansk region in 2020–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 2. P. 95–107. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-95-107

Вклад Санкт–Петербургского НИИ радиационной гигиены в практическую работу отечественных санитарно–эпидемиологических учреждений

В.В. Омельчук^{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 Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

В 2022 г. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека проводит целый ряд мероприятий, посвященных празднованию 100-летия со дня образования государственной санитарно-эпидемиологической службы России. Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены, как и другие научно-практические учреждения Роспотребнадзора, подводит итоги своего вклада в практическую деятельность в области радиационной гигиены. С момента образования Института в декабре 1956 г. и по настоящее время результаты научных исследований по многим аспектам этой сравнительно молодой дисциплины легли в основу при разработке одной из основных проблем радиационной гигиены – охраны здоровья населения от вредного воздействия ионизирующих излучений. Одним из важных практических преломлений полученных научных результатов за 65 лет существования Института является помощь со стороны научных сотрудников организациям, осуществлявшим санитарный надзор за радиационной безопасностью на поднадзорных территориях как СССР, так и субъектов Российской Федерации.

Ключевые слова: радиационная гигиена, источники ионизирующего излучения, радиационная безопасность населения, радиологические группы, санитарно-эпидемиологические станции, нормативно-методические документы, государственный санитарно-эпидемиологический надзор за радиационной безопасностью.

Введение

Если столетняя история возникновения российской санитарно-эпидемиологической службы исчисляется с Декрета Совета народных комиссаров РСФСР «О санитарных органах республики», подписанного 15 сентября 1922 г., то зарождение в СССР радиационной гигиены как самостоятельной научной дисциплины берет свое начало с середины 1950-х гг. Причины ее возникновения многочисленны, хорошо известны и приведены в целом ряде работ: бурное развитие атомной промышленности, разработка и применение атомного и термоядерного оружия (как известно, США впервые применили атомные бомбы в Японии в 1945 г.), строительство первых атомных реакторов, в том числе на атомных подводных лодках и электростанциях и др. Данные обстоятельства предопределили необходимость создания в СССР как научных, так и практических учреждений, на которые были возложены задачи по изучению воздействия на персонал и население источников ионизирующего излучения (ИИИ), их измерению в ходе контрольно-надзорных мероприятий, разра-

ботке мер защиты от неблагоприятного действия ИИИ на организм человека.

Краткая историческая справка о создании в СССР первых научно-практических и учебных учреждений в области радиационной гигиены

В ряде работ [1, 2] приведена информация, отражающая основные исторические вехи возникновения радиационной гигиены. К ним относится, к примеру, создание в соответствии с решением Правительства СССР от 21 августа 1947 г. при Министерстве здравоохранения СССР Третьего Главного управления для разработки научно-обоснованных норм радиационной безопасности и организации медицинского обслуживания работников атомной отрасли. В системе управления организуются научно-исследовательские институты, медико-санитарные части и органы государственного санэпиднадзора. По инициативе И.В. Курчатова одним из первых учреждений, созданных при Отделении биологических наук СССР, стала лаборатория биофизики, изотопов и излучений, в 1952 г. переименованная в Институт биофизики АН СССР.

Омельчук Василий Владимирович

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.omelchuk@niir.ru

В декабре 1956 г. в соответствии с приказами министра здравоохранения СССР № 115 от 07.12.1956 г. и министра здравоохранения РСФСР № 11 от 30.12.1956 г. на базе Ленинградского научно-исследовательского санитарно-гигиенического института был создан Ленинградский научно-исследовательский институт радиационной гигиены Министерства здравоохранения РСФСР (сейчас – Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены, далее – Институт) [3].

Очень важным этапом в создании системы государственного санитарного надзора в области радиационной гигиены явилось создание в соответствии с приказом министра здравоохранения СССР № 41 от 25 января 1958 г. в составе Министерств здравоохранения СССР и союзных республик отделов радиационной безопасности, а в союзных, автономных, республиканских, краевых, областных и некоторых городских, районных и бассейновых санитарно-эпидемиологических станциях (СЭС) радиологических групп (РГ) трех категорий в зависимости от количества имеющихся на поднадзорной территории учреждений, использующих РВ и ИИИ, а также с учетом перспективы их увеличения [2, 4, 5]. Формирование в рамках санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения СССР системы государственного санитарного надзора в области радиационной гигиены заняло период с 1956 по 1959 г. [6].

Одновременно с созданием Института и сети РГ СЭС в конце 1950-х – начале 1960-х гг. был организован целый ряд кафедр для подготовки квалифицированных кадров в области радиационной гигиены. Выдающуюся роль в этом сыграл академик АМН СССР Ф.Г. Кротков, по инициативе которого в 1957 г. была создана первая в СССР кафедра радиационной гигиены на базе Центрального государственного института усовершенствования врачей (ЦОЛИУВ) в Москве (ныне Российская медицинская академия последипломного образования), затем такие кафедры были организованы в Киевском и в Ленинградском институтах усовершенствования врачей (в 1962 г.) [2, 7]. В Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова преподавание радиационной гигиены также было начато в 1962 г. на кафедре военно-морской и радиационной гигиены [8].

В работе [6] указывается, что определение понятия «Радиационная гигиена», отражающее ее задачи и содержание, впервые дано в конце 1960-х – начале 1970-х гг. (А.И. Бурназян, А.А. Моисеев, П.В. Рамзаев, 1969; П.В. Рамзаев, К.К. Поплавский, 1974). В указанном выше источнике приведено определение радиационной гигиены как раздела медицинской науки гигиены, изучающей закономерности формирования доз ионизирующей радиации и ее действия на здоровье человека с целью разработки профилактических (защитных) мероприятий по предотвращению нежелательных ее последствий. Иными словами, радиационная гигиена есть дозиметрия + радиобиология + защита.

Опыт оказания Институтом научно-практической помощи специалистам радиологических групп СЭС

За короткое время после образования научные сотрудники Института сумели выполнить большой объем научных изысканий в новой для себя области знаний –

радиационной гигиене: разработали аппаратно-методический комплекс из уникальной на то время радиометрической и дозиметрической аппаратуры, множество радиохимических методик по обнаружению радионуклидов (особенно техногенного, искусственного происхождения) в объектах внешней среды, биосредах человека [3].

Подводя итоги первых 10 лет работы Института с 1957 по 1967 г., тогдашний его директор М.А. Невструева указывала [9], что, начиная с 1962 г., все исследования, проводимые в Институте, вошли в проблему союзного значения «Научные основы медицинской радиологии и рентгенологии», раздел «Радиационная гигиена». Практические аспекты радиационно-гигиенических проблем Институт решал как головной научно-методический центр системы радиационной службы органов здравоохранения, а основные организации, с которыми был связан Институт, – РГ СЭС и научные учреждения Министерства здравоохранения РСФСР. Институт оказывал также экспертно-консультативную и методическую помощь научным учреждениям и промышленным предприятиям других ведомств по вопросам обеспечения безопасности при использовании радиоактивных веществ (РВ) и ИИИ. Несмотря на то, что Институт входил в систему органов здравоохранения Российской Федерации, он проводил также работу в масштабах всего СССР [9].

В работе [6] представлены 6 основных разделов научных исследований Института в области теории и практики деятельности СЭС в области радиационной гигиены:

1. Разработка гигиенических и организационных основ деятельности СЭС.
2. Определение задач, направлений, содержания и методов работы.
3. Нормирование сил и средств СЭС для работы в данном направлении.
4. Нормирование радиационно-гигиенического обслуживания населения.
5. Вопросы управления деятельностью СЭС.
6. Правовые основы работы СЭС в области радиационной гигиены.

Основными направлениями помощи Института практикующему звену СЭС в области радиационной гигиены были научно-организационная, научно-консультационная и научно-методическая и работа [4, 10, 11].

Так как данные направления деятельности достаточно широки и объемны по своему содержанию, то и в реализации их была занята значительная часть научных сотрудников Института – начиная от обучения специалистов РГ СЭС и заканчивая разработкой и оснащением в экспериментально-производственных мастерских Института передвижных радиологических лабораторий (ПРЛ). Следует отметить, что аккумулярование всех научных данных в Институте в области практической помощи СЭС в сфере радиационной гигиены, их научное осмысление, выработка конкретных предложений были возложены на коллектив лаборатории оптимизации государственного санитарного надзора (с 1963 г. – организационно-методический отдел, с 1970 г. – организационно-методическая лаборатория, с 1973 г. – научно-организационный отдел) Института, возглавляемые долгие годы Константином Константиновичем Поплавским. В данных подразделениях работали И.И. Дзюбенко, Т.М. Королева,

Г.И. Смородинцева, Г.М. Кацнельсон, Л.Н. Лисенкова, М.И. Тарасова и др. Именно их научные работы легли в основу анализа итогов деятельности Института по практической помощи СЭС в области радиационной гигиены от возникновения Института в 1956 г. вплоть до 1990-х гг. Особую важность данные научные труды [4, 10, 11, 12–20] имеют из-за представления в них информации о самых первых периодах становления практического звена отечественной санитарно-эпидемиологической службы в области надзора и контроля за ИИИ.

Научно-организационная работа Института в становлении и развитии практикующего звена СЭС в области радиационной гигиены

Как следует из вышеперечисленных направлений работы Института в плане оказания помощи при осуществлении государственного санитарного надзора за радиационной безопасностью населения, самые первые мероприятия были направлены на научное осмысление и документальное оформление организационных аспектов деятельности вновь образованных РГ СЭС. При непосредственном участии специалистов Института разрабатывались задачи, направления работы РГ СЭС в области радиационной гигиены. С течением времени они менялись в связи с увеличением количества поднадзорных объектов, использующих РВ и ИИИ, переходом от мониторинга территорий СССР вследствие применения атомного оружия к изучению вклада в дозы населения от природного и медицинского облучения, необходимостью разработки и планирования мероприятий на случай возникновения аварийных ситуаций с РВ и ИИИ [13, 14].

Как указано выше, первые штаты РГ СЭС введены приказом МЗ СССР № 41 от 25.01.1958 г. В данном документе прописаны количество и категоричность РГ в каждом регионе СССР. В работе [15] указано, что до выхода в свет приказа МЗ СССР №300-69 штаты РГ практически развивались «стихийно», исходя из потребности выполнения объема работы СЭС по радиационной гигиене.

Как указывают авторы [2], первые 5 лет после начала организации РГ СЭС происходило их становление как самостоятельных подразделений в составе СЭС, их организационное, техническое, кадровое обеспечение. Первые руководства по работе таких подразделений, их задачи, обязанности, объекты и методы наблюдений были разработаны для РСФСР в Институте.

Увеличение объема государственного санитарного надзора в области радиационной гигиены, в том числе и по причине увеличения численности учреждений и предприятий, на которых применяются ИИИ (средний годовой прирост численности радиологических объектов составил в 1957–1964 гг. 13,2%), привело к потребности научного обоснования Институту изменений штатов РГ СЭС [15].

В указанной выше работе приводятся данные и о масштабах проводимых в данном направлении исследований: «В соответствии с приказом Министерства здравоохранения СССР № 435 от 20.04.1975 г. «О мерах по дальнейшему улучшению работы по штатному нормированию работников учреждений здравоохранения», а также на основании прямых директивных указаний Министерств здравоохранения СССР и РСФСР вновь проводилось исследование на тему «Штаты радиологических групп

СЭС». Исследование осуществлялось под руководством ВНИИ социальной гигиены и организации здравоохранения им. Н.А. Семашко МЗ СССР, ЛенНИИГом, совместно с Минздравами СССР и РСФСР, республиканскими СЭС, Минздравами Узбекской и Белорусской ССР. В проведении исследования принимали участие 36 СЭС РСФСР. Работа Института с Узбекистаном и Белоруссией проводится по планам совместной работы».

Научные исследования по разработке штатов РГ СЭС основаны на целой серии исследований по определению нормативов нагрузки и нормативов затрат времени специалистов РГ (изучены объем и процентное распределение времени на выполнение отдельных видов деятельности различных специалистов РГ), нормативов радиационно-гигиенического обслуживания населения, четырех категорий сложности санитарного надзора за объектами (1-я – наивысшей сложности), организационно-штатного расписания, табелей оснащения и т.п. [14, 16, 17].

В 1970-е гг. Институту были подготовлены и внедрены «Положение о работе санэпидстанций в области радиационной гигиены с табелями их оснащения и оборудования, «Основные обязанности сотрудников РГ СЭС», «Перечень минимального количества радиометрической аппаратуры и оборудования для РГ СЭС», «Инструкция о работе санитарно-эпидемиологических станций по разделу радиационной гигиены № 1900-78, «Положение о службе радиационной безопасности учреждения». В последнем документе определены основные и частные задачи, организационно-штатные вопросы, обязанности и права, принципы организации работы службы радиационной безопасности учреждения [4, 6].

В соответствии с решением Коллегии Минздрава РСФСР в 1973 и 1976 гг. Институту разработаны и представлены в 1978 г. в Минздрав РСФСР проекты нормативов нагрузки и нормативов времени специалистов РГ, нормативов радиационно-гигиенического обслуживания населения, проекты новых штатов РГ областных и городских СЭС [15].

Указанные научные принципы обоснования штатов РГ СЭС реализованы в конце 1980-х гг. в виде новых штатов радиологических групп (отделений, отделов) СЭС [18] (табл. 1).

Совместно со специалистами кафедры радиационной гигиены ЦОЛИУВ были разработаны схемы обследования, результаты которых оформлялись актами с предложениями и приложением радиометрических и дозиметрических измерений. Используя наработки Института, подобного рода документы разрабатывались и внедрялись в практику в республиках бывшего СССР [19].

Помимо разработки штатного расписания РГ СЭС, в Институте активно проводились работы по подготовке кадров РГ СЭС, созданию и обоснованию оптимального табеля их оснащения, изготовлению эталонных источников, ремонту дозиметрической аппаратуры, изготовлению ПРЛ и передаче их в СЭС. Результаты данной работы за 20-летний период (с 1957 по 1977 г.) представлены в работе [12].

Приведенные в таблице 2 данные наглядно подтверждают роль Института как методического центра в специализации и усовершенствовании кадров РГ СЭС и научных учреждений, работающих в области радиационной

Штаты радиологических групп (отделений, отделов) областных (краевых, республиканских) санитарно-эпидемиологических станций

Таблица 1

[Table 1]

Staffing profile of radiological groups (departments) of regional (republican) sanitary-epidemiological stations

Специалист [Specialist]	Категория группы (отделения, отдела) [Category of the group (department)]			
	III	II	I	Некатегорийные [Non-category]
Заведующий отделением – санитарный врач по радиационной гигиене. [Head of the department – sanitary physician on radiation hygiene]	1	1	1	
Санитарный врач по радиационной гигиене [Sanitary physician on radiation hygiene]	–	–	1	
Помощник санитарного врача [Assistant of the sanitary physician]	–	1	2	
Инженер [Engineer]	1	1	2	Устанавливается в индивидуальном порядке [Established individually]
Врач-лаборант [Physician-assistant]	1	1	1	
Техник [Technician]	–	1	2	
Лаборант [Assistant]	1	1	1	
Санитарка [Nurse]	1	1	1	

Работа Института по подготовке кадров и оснащению радиологических групп СЭС

Таблица 2

[Table 2]

Activities of the Institute on the education of staff and equipment of radiological groups

С 1957 по 1977 г.	Количество [Number]						Ремонт дозиметрической аппаратуры [Repair of the dosimetry equipment]	Количество лекций, прочитанных для населения [Lectures for the public]
	Проведенных семинаров [Seminars held]	Подготовленных специалистов на семинарах [Trained specialists on seminars]	Подготовленных специалистов на рабочих местах* [Trained specialists on site]	Изготовленных ПРЛ** [Developed PRLs]	Изготовленных эталонных источников [Manufactured calibration sourced]			
Всего [Total]	43	1383	601/477	182/139	1181	2075	3244	

* – в числителе общее количество подготовленных специалистов, в знаменателе – сотрудники РГ СЭС [total number of specialists/ staff of RG SES];

** – в числителе общее количество изготовленных ПРЛ, в знаменателе – ПРЛ, переданные в СЭС. [total number of PRL/PRLs send to SES].

гигиены. Начиная с 1961 г., Институт ежегодно проводил семинары для врачей, инженеров-физиков, лаборантов с высшим образованием, инженеров-радиотехников, техников-дозиметристов и лаборантов со средним образованием РГ СЭС. Эффективной формой обучения специалистов, которая практиковалась в Институте, являлось усовершенствование специалистов на рабочих местах, а также в лабораториях Института (главным образом врачей и лаборантов с высшим образованием). Подготовка лаборантов и радиотехников была возложена на внекатегорийные РГ СЭС, для которых специалисты Института разработали соответствующие учебные программы. Приведенные в таблице 2 данные по объему подготовки

различных категорий специалистов более чем убедительны: за 20 лет работы Института проведено 43 семинара, подготовлено около 2000 специалистов, из которых более 1300 на семинарах и 600 человек на рабочих местах, прочитано более 3200 лекций.

Авторы указывают [2], что обучение за 5–10 лет в СССР врачей-гигиенистов как в Институте, так и на профильных кафедрах (а физиков, радиохимиков, дозиметристов еще и (помимо Института) на курсах при Институте биофизики) привело к следующим результатам:

– формированию радиационной гигиены как науки со своими теориями, методологией и научными направлениями;

- созданию органов санэпиднадзора в области радиационной гигиены;
- организации системы подготовки высококвалифицированных кадров для санэпиднадзора в области радиационной гигиены.

Важным аспектом в научно-организационной помощи практическому звену отечественной санитарной службы являлись работы научно-технического характера. К ним следует отнести изготовление и передачу РГ СЭС эталонных источников (за 20 лет более 1180 источников стронция-90 и цезия-137), ремонт в экспериментально-производственных мастерских Института порядка 2000 дозиметрических и радиометрических приборов.

Весьма актуальными представляются итоги работ Института, направленные на техническое обеспечение специалистами РГ СЭС оперативного дозиметрического контроля внешней среды, персонала и населения при помощи ПРЛ (за 20 лет изготовлены 180 ПРЛ, из которых 140 были переданы в СЭС). Работы в указанном направлении велись Институтом с начала 1960-х гг. [10]. В работе [21] приводится описание комплекса разработанной в Институте аппаратуры, которой оснащена лаборатория (приборы, блоки и оборудование), основные технические и эксплуатационные характеристики. Авторы в данной работе указали преимущество модели ПРЛ-76, смонтированной на базе автомобиля УАЗ-452А, в сравнении с вариантами лабораторий, разработанных в Институте ранее: более информативна в работе и универсальна по применению, позволяет осуществлять как текущий, так и послеаварийный дозиметрический контроль различных объектов и обеспечивает получение оперативной информации о радиационной обстановке на больших территориях.

Научно-консультационная работа Института в становлении и развитии практикующего звена СЭС в области радиационной гигиены

После первых 2 лет с момента своего образования в декабре 1956 г. одним из важных направлений деятельности Института совместно с практическим звеном СЭС было выполнение экспертно-консультативных работ. Данные итоги подводились за разный период времени – за 10 лет работы Института отражены в [10]. Результаты за 20-летний период (с 1957 по 1977 г.) представлены авторами в [11].

Приведенные в таблице 3 данные наглядно демонстрируют участие специалистов Института в оказании практической помощи сотрудникам РГ СЭС путем непосредственного консультирования, в том числе и в ходе командировок на места. Особенно широко эта работа проводилась, начиная с 1961 г. Постоянные командировки сотрудников Института в СЭС в эти годы (340 выездов) способствовали скорейшему внедрению в практику дозиметрических методов, новых организационных форм работы с предприятиями и учреждениями, использующими РВ и ИИИ.

За 20-летний период сотрудники Института дали 17 000 консультаций, написали 800 экспертных заключений и рецензий на проекты нового строительства радиологических объектов, санитарных документов, направили более 800 письменных ответов на запросы СЭС и других учреждений. С целью подготовки рекомендаций по улучшению работы РГ СЭС Институт долгие годы рецензировал годовые и полугодовые отчеты СЭС в области радиационной гигиены, всего было написано более 500 рецензий. Оказывая методическую помощь, а также проверяя правильность проводимых исследований на местах, специалисты Института, начиная с 1961 г., регулярно проводили радиохимические анализы проб внешней среды, отобранные сотрудниками РГ и присланные в Институт. В общей сложности было проанализировано порядка 14 000 проб.

Научно-методическая работа Института в становлении и развитии практикующего звена СЭС в области радиационной гигиены

Разработка и создание отечественной нормативно-методической базы радиационной гигиены – одно из важных направлений деятельности Института как в научном, так и в практическом плане [2–4, 6]. В работе [5] полученные результаты в указанном направлении авторы условно разделили на три временных периода: первый этап включает период с момента создания в декабре 1956 г. Института и разработки первых документов до выхода в свет в начале 1970-х гг. «Основных санитарных правил работы с РВ и другими ИИИ (ОСП – 72/87)» и «Норм радиационной безопасности НРБ – 76/87». Второй временной период закончился в 1996 г. и ознаменовался важнейшим документом санитарного законодательства в области радиационной гигиены – Федеральным законом «О радиационной безопасности населения № 3-ФЗ от 09.01.1996 г. В приведенной выше работе анализ результатов научно-методической работы ограничился временным периодом по 2006 г.

Нет необходимости приводить в данной статье весь массив наработанных документов, так как, во-первых, они

Экспертно-консультативная работа Института в 1957–1977 гг.

Таблица 3

Consultant and expert activities of the Institute in 1957–1977]

[Table 3

С 1957 по 1977 г. 1957–1977	Количество консультаций [Number of advices]	Количество экспертных заключений и рецензий [Number of expert decisions and reviews]	Количество СЭС, в которые выезжали сотрудники Института [Number of SES visited by the Institute staff]	Количество анализов проб, присланных из СЭС [Number of sample analyses]
Всего [Total]	16 915	787	340	14259

хорошо известны профессионалам, во-вторых, согласно изложенным в них требованиям, практическим звеном и осуществляется государственный санитарно-эпидемиологический надзор в области радиационной гигиены.

Вместе с тем, подводя итоги научно-методического направления работы Института, считаем необходимым привести самые первые (разработанные зачастую совместно со специалистами других учреждений) документы, о которых упоминали в своих работах многие авторы [2–6]:

- в 1959 и 1960 гг. разработаны инструктивно-методические указания по работе санэпидстанций в области контроля за глобальными выпадениями радиоактивных веществ, которые в 1963 г. переработаны совместно с Институтом биофизики МЗ СССР в «Инструктивно-методические указания по контролю за радиоактивностью внешней среды № 457-63»;

- результаты научных радиационно-гигиенических исследований первого в СССР централизованного пункта захоронения радиоактивных отходов легли в основу «Санитарных правил по сбору, удалению и захоронению радиоактивных отходов № 477-64»;

- первые документы, регламентировавшие требования к техногенным ИИИ: «Санитарные правила по промышленной гамма-дефектоскопии № 488-63» (разработаны совместно с Институтом биофизики МЗ СССР); «Санитарные правила устройства и эксплуатации мощных изотопных гамма-установок № 482-64» (разработаны совместно с Всесоюзным научно-исследовательским институтом охраны труда ВЦСПС); «Инструкция по эксплуатации установок рентгеноструктурного анализа № 498-64».

В целом же, только в период 1960–1970-х гг. специалисты Института разработали более 200 инструктивно-методических указаний и рекомендаций, в число которых и входили документы по работе СЭС в области радиационной гигиены [5].

Начиная с 1959 г., Институт регулярно (один раз в два года) организует и проводит научно-практические конференции по радиационной гигиене. Особенностью этих конференций является то, что на них не только подводятся итоги НИР, но и широко используются материалы методического характера, представляющие интерес работников практического здравоохранения. По окончании конференции, как правило, организовывались совещания по координации исследований для работников радиологических групп СЭС и сотрудников НИИ, работающих в области радиационной гигиены. За период с 1957 по 1977 г. в Институте было организовано и проведено 8 республиканских научно-практических конференций, около 20 координационных и 7 зональных совещаний по радиационной гигиене, оказана методическая помощь в организации и проведении областных конференций по радиационной безопасности [11].

Помощь Института практикующему звену СЭС после аварии на Чернобыльской АЭС

Выделение в статье данного периода совместной деятельности Института и специалистов РГ СЭС обусловлено не только хорошо известными причинами и последствиями данной запроектной и не имеющей аналогов в мировой истории радиационной аварии, но и чрезвычайно

сложными задачами, которые пришлось решать специалистам СЭС на местах, особенно в первые недели – месяцы после аварии. Участие специалистов Института в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции в самый сложный – первый год после аварии изложено в работе [22], в которой подробно приведены, в частности, данные о специалистах, откомандированных в областные СЭС (Брянской, Тульской, Орловской, Калужской, Смоленской и других областей) для выполнения работ по радиационно-гигиеническому обследованию радиоактивно-загрязненных территорий. Наибольшими по количеству привлекаемых научных сотрудников и времени выполняемых работ были командировки в Брянскую область как наиболее пострадавшую от аварии на ЧАЭС территорию РСФСР. Работы выполнялись в среднем в течение 10–20 дней, но некоторые командировки занимали 30 и более дней.

Итоги работы санитарно-эпидемиологических станций по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС подведены специалистами Института в работе [23]: «В соответствии с заданием 06.05. Программы С-27 коллектив лаборатории оптимизации госсаннадзора Института (головное учреждение) совместно с учеными (Киевского НИИ общей и коммунальной гигиены им. А.Н. Марзеева) и практическими работниками России, Украины и Белоруссии (главных санэпидуправлений, республиканских СЭС Минздравов России, Украины и Белоруссии) в 1986–1989 гг. выполнил исследование на тему «Разработать организационные вопросы работы санэпидстанций в условиях радиационной аварии». Проведенные исследования позволили выявить основные недостатки, объективные причины, не позволившие СЭС проводить работу достаточно эффективно, особенно на ранней фазе развития аварии:

- отсутствие документов, определяющих нормы и правила проживания и работы отдельных групп населения на загрязненных РВ территориях;

- инертность центральных и местных органов управления деятельностью СЭС при ликвидации последствий аварии на ранней фазе ее развития;

- отсутствие в СЭС, особенно городского и районного уровня, необходимых дозиметрических и радиометрических приборов, подготовленных специалистов для работы с ними;

- недостаточная укомплектованность радиологических подразделений СЭС инженерно-техническим персоналом (инженеры, техники), в основном, по причине низкой зарплаты;

- неудовлетворительная координация деятельности учреждений различных ведомств в выявлении радиационной обстановки;

- психологическая неподготовленность широких кругов медицинских работников и населения в целом к возможным радиационным авариям различного происхождения.

В ходе исследования были разработаны и утверждены главным государственным санитарным врачом РФ «Методические рекомендации по организационной работе СЭС по ликвидации последствий крупномасштабной радиационной аварии». Кроме того, были разработаны «Инструктивно-методические материалы о работе территориальной санитарно-эпидемиологической станции при

ликвидации последствий аварии на ядерно-физической установке (ЯФУ)», утвержденные в ноябре 1990 г. главным государственным санитарным врачом СССР за № 5195-90. В данном документе представлены «Положение о работе СЭС при ликвидации последствий радиационной аварии на ЯФУ»; «Функциональные обязанности персонала СЭС при ликвидации последствий радиационной аварии на ЯФУ»; Планирование работы СЭС при ликвидации последствий радиационной аварии на ЯФУ. Помимо вышеперечисленных, сотрудниками Института совместно со специалистами кафедры радиационной гигиены ЦОЛИУВ и других учреждений было разработано «Положение об отделе (отделении) радиационной гигиены санэпидстанций», которое было утверждено в 1991 г. главным государственным санитарным врачом СССР за № 5797-91, а также «Временные рекомендации по уровням реагирования при обнаружении радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды» (утверждены заместителем главного государственного санитарного врача СССР 14 июня 1990 г. [23]).

В монографии [24] представлена информация по итогам работы Института в качестве научно-методического центра госсанэпиднадзора России по вопросам радиационной безопасности и защиты населения от последствий аварии на ЧАЭС, включая непосредственное участие в ликвидации последствий аварии, дозиметрическое обследование наиболее загрязненных территорий Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей, подготовку справочных материалов по оценке радиационной обстановки и доз облучения населения, которые явились основанием для принятия решений по отселению населения или применению ограничительных мер для снижения и предотвращения облучения населения.

Современный этап взаимодействия Института и практических структур профилактического звена в области радиационной гигиены

Как приведено выше [2], период с начала 1960-х гг. по конец 1970-х гг. ознаменовался организацией системы подготовки высококвалифицированных кадров для санэпиднадзора в области радиационной гигиены, началом все более эффективной работы СЭС в области радиационной гигиены.

В связи с сокращением штатов в 1994 г. в Институте была упразднена лаборатория оптимизации госу-

дарственного санитарного надзора, возглавляемая К.К. Поплавским. Значительное снижение к тому времени в Институте объема научных исследований по научно-практической помощи профильным специалистам СЭС объясняется становлением к этому времени практикующего звена СЭС в области радиационной гигиены, появлением не только профессионально подготовленных кадров, но и современной аппаратуры, соответствующих методик исследований.

Изменения в деятельности государственных структур профилактического профиля берут начало с 2000-х гг. Правовые основы данных преобразований отражены в указе президента РФ В.В. Путина от 9.03.2004 г. № 314 «О системе и структуре федеральных органов исполнительной власти», Постановлениях Правительства РФ от 6.04.2004 г. № 154 «Вопросы федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека» и от 30.07.2004 г. № 322 «Об утверждении положения о Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека». С этого времени Роспотребнадзор является уполномоченным федеральным органом исполнительной власти по осуществлению функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения РФ в общем и радиационной безопасности в частности.

Несмотря на реорганизацию профилактического звена отечественной медицины в государственном масштабе, некоторые направления работ Института по оказанию помощи специалистам-практикам в области радиационной гигиены сохранились с самых первых лет работы Института: начиная от совместного выполнения ряда научно-исследовательских работ и разработки проектов методических документов до повышения квалификации на различных курсах, участия в семинарах и научных конференциях, проводимых Институтом. Результаты научно-методической работы Института за десятилетний период (с 2011 по 2021 г.) представлены в таблице 4.

Научно-методическая помощь Института практикующему звену СЭС после аварии на АЭС «Фукусима-1»

Авария на японской АЭС «Фукусима-1», случившаяся в 2011 г. через 25 лет после аварии на Чернобыльской атомной станции, относится к ряду крупнейших современных техногенных катастроф, потребовавших приня-

Итоги научно-методической работы Института за 2011–2021 гг.

Таблица 4

Results of the scientific-methodical activities of the Institute in 2011–2021]

[Table 4

№ п/п	Наименование мероприятия [Type of event]	Результат [Result]
1.	Обучение в Институте специалистов на циклах повышения квалификации [Education of the specialists on training courses]	2016/ 238*
2.	Проведено семинаров [Seminars held]	49
3.	Организовано и проведено международных научно-практических конференций [International scientific-practical conferences]	6

* – в числителе общее количество подготовленных специалистов, в знаменателе – сотрудники Роспотребнадзора [* total number of specialists/ staff of the Rospotrebnadzor].

тия решений по оценке как возможности, так и величины трансграничных переносов техногенных аварийных радионуклидов на территорию Дальнего Востока, осуществлению мер по эффективной радиационной защите проживающего там населения от последствий этой глобальной радиационной аварии.

В изданной в 2012 г. монографии [25] не только достаточно подробно изложены первоочередные меры, принятые Роспотребнадзором по оценке радиационной обстановки на территории Дальневосточного федерального округа и принятию эффективных мер по предотвращению облучения местного населения, но и приведена информация по участию специалистов Института в оказании научно-методической помощи территориальным органам и учреждениям Роспотребнадзора: подготовлены предложения по допустимым уровням содержания йода-131 и цезия-134 в пищевой продукции; оперативно была проведена работа по настройке сцинтилляционных гамма-спектрометров с обучением специалистов Центров гигиены и эпидемиологии из Владивостока и Хабаровска, проведению радиационного контроля пищевой продукции с учетом наличия в ней радионуклидов йода-131, цезия-134 и цезия-137.

В указанной выше работе обобщены результаты ряда важных работ, выполненных научными сотрудниками Института: экспедиционных радиоэкологических исследований в Японском море и северо-западной части Тихого океана; оценки радиационной обстановки в дальневосточных субъектах Российской Федерации, полученной в ходе весенних и осенних (2011 г.) исследований; определению уровней потенциально возможного внутреннего облучения местного населения при употреблении перелетных птиц и дальневосточных морепродуктов.

Следует отметить, что данное направление научных исследований нашло свое отражение в опубликованных в журнале «Радиационная гигиена» научных статьях. К примеру, результаты радиоактивного загрязнения дальневосточных морепродуктов и связанных с этим радиационных рисков отражены в работах [26–28], данные по мониторингу радиационной обстановки в Курило-Камчатском районе Тихого океана приведены в статьях [29, 30].

Десятилетний итог собственных и зарубежных научных исследований после аварии на АЭС «Фукусима-1» приведен сотрудниками Института в монографии [31], в которой представлены результаты по многим направлениям (всего в данной работе 13 глав), включая профилактические меры, предпринимаемые специалистами Роспотребнадзора по радиационной защите населения Дальнего Востока.

Заключение

С момента своего создания в декабре 1956 г. и по настоящее время Институт является головным научно-методическим центром Роспотребнадзора в области защиты населения Российской Федерации от вредного воздействия ионизирующих излучений. Вклад Института в становление практического звена отечественной профилактической медицины в области радиационной гигиены и его развитие достаточно значим. Особенно важные и актуальные результаты Института в данном направлении деятельности достигнуты в период станов-

ления и развития практического звена СЭС – в период с начала 1960-х гг. по 1980-е гг. Применение специалистами-практиками научных разработок Института позволило со временем достаточно эффективно осуществлять санитарный надзор за радиационной безопасностью на поднадзорных территориях СССР.

В настоящее время Институт является единственным в Российской Федерации научно-исследовательским институтом, решающим совместно со специалистами Управлений и Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора современные задачи в области радиационной гигиены – обеспечение радиационной безопасности населения России, снижение рисков здоровью от воздействия радиационного фактора.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

- Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена: учеб. для вузов. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 384 с.
- Архангельская Г.В., Тихонова А.И. К истории развития радиационной гигиены в Российской Федерации // Радиационная гигиена: Сб. научн. трудов. СПб: ФГУН НИИРГ имени профессора П.В. Рамзаева, 2006. С. 3-10.
- Романович И.К., Архангельская Г.В., Тихонова А.И. Санкт-Петербургскому научно-исследовательскому институту радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева – 50 лет // Радиационная гигиена: Сб. научн. трудов. СПб: ФГУН НИИРГ имени профессора П.В. Рамзаева, 2006. С. 32-39.
- Поплавский К.К. Основные направления работы санитарно-эпидемиологических станций в области радиационной гигиены // Труды по радиационной гигиене. Выпуск 3. Под редакцией Невструевой М.А. Ленинград, 1967. С. 223-233.
- Либерман А.Н., Рамзаев П.В., Иванов Е.В., и др. Совершенствование законодательной и нормативно-методической базы радиационной гигиены // Радиационная гигиена: Сб. научн. трудов. СПб: ФГУН НИИРГ имени профессора П.В. Рамзаева, 2006. С. 19-28.
- Поплавский К.К., Рамзаев П.В. Актуальные вопросы теории и практики деятельности санитарно-эпидемиологических станций в области радиационной гигиены // Радиационная гигиена. Выпуск 6. Сборник научных трудов. Л., 1978. С. 5-19.
- Балтрукова Т.Б. Образование длиной в жизнь (к 50-летию кафедры радиационной гигиены СЗГМУ им. И.И. Мечникова) // Радиационная гигиена. 2012. Т. 5, №. 3. С. 58- 60.
- Петреев И.В., Гребеньков С.В. Кафедра военно-морской и радиационной гигиены: предпосылки к созданию и современность. СПб: ВМедА, 2010. 46 с.
- Невструева М.А. Об итогах научной деятельности Ленинградского научно-исследовательского института радиационной гигиены за 10 лет (1957-1967 гг.) // Труды по радиационной гигиене. Выпуск 3. Под редакцией М.А. Невструевой. Л., 1967. С. 3-11.
- Поплавский К.К., Дзюбенко И.И., Костерева Л.М., и др. О работе института радиационной гигиены по оказанию научной и организационно-методической помощи организациям здравоохранения // Труды по радиационной гигиене. Выпуск 3. Под редакцией М.А. Невструевой. Л., 1967. С. 234- 239.
- Дзюбенко И.И., Поплавский К.К., Смородинцева Г.И., и др. Научно-организационная, научно-методическая и на-

- учно-консультационная работа Ленинградского научно-исследовательского института радиационной гигиены Министерства здравоохранения РСФСР // Радиационная гигиена. Выпуск 6. Сборник научных трудов. Л., 1978. С. 91-97.
12. Акулов К.И. Итоги и перспективы работы радиологических групп санитарно-эпидемиологических станций РСФСР // Радиационная гигиена. Выпуск 4. Материалы Республиканской конференции по радиационной гигиене. По ред. проф. П.В. Рамзаева. Л., 1971. С 4-7.
 13. Поплавский К.К. Совершенствование организации работы санитарно-эпидемиологических станций в области радиационной гигиены // Радиационная гигиена. Выпуск 4. Материалы Республиканской конференции по радиационной гигиене. По ред. проф. П.В. Рамзаева. Л., 1971. С. 16-18.
 14. Поплавский К.К., Тарасова М.И., Смородинцева Г.И. Нормативы нагрузки и нормативы времени специалистов радиологических групп санитарно-эпидемиологических станций // Радиационная гигиена. Выпуск 6. Сборник научных трудов. Л., 1978. С 73-77.
 15. Поплавский К.К., Васильев Г.Г. Актуальные вопросы нормирования радиационно-гигиенического обслуживания населения // Радиационная гигиена. Сборник научных трудов. Л., 1982. С.15-22.
 16. Смородинцева Г.И. Распределение рабочего времени санитарных врачей по радиационной гигиене радиологических групп СЭС // Радиационная гигиена. Выпуск 4. Материалы Республиканской конференции по радиационной гигиене. По ред. проф. П.В. Рамзаева Л., 1971. С. 35-37.
 17. Зайцева А.Д., Костерева Л.М. Оценка рабочего времени инженеров-физиков и техников-радиотехников радиологических групп СЭС // Радиационная гигиена. Выпуск 4. Материалы Республиканской конференции по радиационной гигиене. По ред. проф. П.В. Рамзаева. Л., 1971. С. 38-40.
 18. Поплавский К.К., Дзюбенко И.И., Королева Т.М., и др. Научные принципы обоснования штатов радиологических групп санитарно-эпидемиологических станций // Радиационная гигиена. Сборник научных трудов. Л.: Изд. ЛНИИРГ, 1986. С. 5-18.
 19. Арыкова Н.И. Опыт работы радиологических групп облэс по текущему санитарному надзору за объектами, работающими с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений // Радиационная гигиена. Выпуск 4. Материалы Республиканской конференции по радиационной гигиене. По ред. проф. П.В. Рамзаева. Л., 1971. С. 23-25.
 20. Макарова Т.В., Поплавский К.К. Некоторые вопросы совершенствования радиационно-гигиенического надзора // Радиационная гигиена: Сборник научных трудов. Л.: Изд. ЛНИИРГ, 1983. С. 150-156.
 21. Долгирев Е.И., Домарацкий В.П., Костиков Ю.И., и др. Передвижная радиометрическая лаборатория (ПРЛ-76) // Радиационная гигиена. Выпуск 7. Сборник научных трудов. Л.: Изд. ЛНИИРГ, 1978. С. 147-149.
 22. Омельчук В.В., Байковская Л.В. Участие специалистов Ленинградского НИИ радиационной гигиены в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (по данным 1986 года) // Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на ЧАЭС: Сб. тезисов межд. науч.-практ. конф. СПб, 2016. С. 129-133.
 23. Поплавский К.К., Карлин Н.Е., Кацнельсон Г.М., и др. Основные итоги работы санитарно-эпидемиологических станций по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена: Сб. научн. тр. СПб, 1992. С. 111-122.
 24. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Под ред. академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. СПб.: НИИРГ имени проф. Рамзаева, 2016. Т. 1. 448 с.
 25. Романович И.К., и др. Авария на АЭС «Фукусима-1»: организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации. Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012. 336 с.
 26. Рамзаев В.П., Иванов С.А., Гончарова Ю.Н., и др. Исследование радиоактивного загрязнения морской биоты в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2012. Т. 5, № 4. С. 5-11.
 27. Репин В.С. Радиационно-гигиеническая оценка возможных уровней загрязнения дальневосточных морепродуктов долгоживущими радионуклидами в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2012. Т. 5, № 2. С. 61-70.
 28. Онищенко Г.Г., Репин В.С., Романович И.К. Оценка радиационных рисков вследствие потребления дальневосточной промысловой рыбы после аварии на АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 1. С. 5-15.
 29. Библин А.М., Иванов С.А., Рамзаев В.П., Басалаева Л.В. О некоторых результатах третьей комплексной многопрофильной экспедиции русского географического общества по мониторингу радиационной обстановки в Курило-Камчатском районе Тихого океана в 2014 г. // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 1. С. 62-66.
 30. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Громов А.В., и др. Динамика содержания ⁷Be, ⁴⁰K, ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs в эпифитных лишайниках (род *Usnea*) на островах Кунашир и Сахалин после аварии на АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 3. С. 14-27.
 31. Авария на АЭС «Фукусима-1»: радиологические последствия и уроки. Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2021. 338 с.

Поступила: 10.03.2022 г.

Омельчук Василий Владимирович – доктор медицинских наук, ученый секретарь Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; профессор Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: v.omelchuk@niirg.ru

Для цитирования: Омельчук В.В. Вклад Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены в практическую работу отечественных санитарно-эпидемиологических учреждений // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 108-118. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-108-118

Contribution of the St-Petersburg Institute of radiation hygiene to the practical activities of Russian sanitary-epidemiological facilities

Vasiliy V. Omelchuk

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 North-Western State Medical University after I.I. Mechnikov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

In 2020 Federal Service for surveillance on consumer rights protection and human well-being organizes a series of events devoted to the 100th anniversary of the day of establishment of the state sanitary-epidemiological service of Russia. St-Petersburg research institute of radiation hygiene, as other scientific-practical institutions of the Rospotrebnadzor, summarizes its contribution to practical activities in the field of radiation hygiene. Since the foundation of the Institute in December 1956 and up to current time the results of the research on many aspects of this significantly young discipline formed the basis for the development of one of the main problems of radiation hygiene – protection of the public health from hazardous effects of ionizing exposure. One of the important practical aspects of the performed research in the assistance to the institutions providing sanitary surveillance on the radiation safety on the territories of the USSR and regions of the Russian Federation.

Key words: radiation hygiene, sources of ionizing exposure, radiation safety of the public, radiological groups, sanitary-epidemiological stations, regulations, state sanitary-epidemiological surveillance on the radiation safety.

Conflict of Interest

The author declare no conflict of interest.

Sources of Funding

The study was not supported by sponsors.

References

- Ilyin LA, Kirillov VF, Korenkov IP. Radiation hygiene – a handbook for high education institutions. Moscow: GEOTAR-Media; 2010. 384 p. (In Russian)
- Arkhangelskaya GV, Tikhonova AI. To history of the development of radiation hygiene in the Russian Federation. Radiation Hygiene. Conference proceedings. Saint-Petersburg: FGUN NIIRG after prog. P.V. Ramzaev; 2006. P. 3-10. (In Russian)
- Romanovich IK, Arkhangelskaya GV, Tikhonova AI. 50 years to the St-Petersburg scientific-research institute of radiation hygiene after prof. P.V. Ramzaev. Radiation Hygiene. Conference proceedings. Saint-Petersburg: FGUN NIIRG after prog. P.V. Ramzaev; 2006. P. 32-39. (In Russian)
- Poplavsky KK. Main fields of activities of sanitary-epidemiological stations in radiation hygiene. Annals of radiation hygiene. Vol. 3. Ed. by M.A. Nevstrueva. Leningrad; 1967. P. 223-233. (In Russian)
- Liberman AN, Ramzaev PV, Ivanov EV, et al. Development of legislative and regulation base of radiation hygiene. Radiation Hygiene. Conference proceedings. Saint-Petersburg: FGUN NIIRG after prog. P.V. Ramzaev; 2006. P. 19-28. (In Russian)
- Poplavsky KK, Ramzaev PV. Topical issues of theory and practice of activities of sanitary-epidemiological stations in radiation hygiene. Radiation Hygiene, Vol. 6. Leningrad; 1978. P. 5-19. (In Russian)
- Baltrukova TB. A life-long education (to 50th anniversary of department of radiation hygiene SZGMU after I.I. Mechnikov). *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*. 2012;5(3): 58-60. (In Russian)
- Petreev IV, Grebenkov SV. Department of naval and radiation hygiene: basis for the creation and current status. Saint-Petersburg: VMedA; 2010. 46 p. (In Russian)
- Nevstrueva MA. On the results of scientific activities of Leningrad scientific-research institute of radiation hygiene in 10 years (1957-1967). Annals of radiation hygiene. Vol. 3. Ed. by M.A. Nevstrueva. Leningrad; 1967. P. 3-11. (In Russian)
- Poplavsky KK, Dzyubenko II, Kostereva LM, et al. On the activities of the institute of radiation hygiene on the provision of scientific and methodical assistance to the healthcare institutions. Annals of radiation hygiene. Vol. 3. Ed. M.A. Nevstrueva MA. Leningrad; 1967. P. 234-239. (In Russian)
- Dzyubenko II, Poplavsky KK, Smorodintseva GI, et al. Scientific-managerial, scientific-methodical, and advisory activities of Leningrad scientific-research institute of radiation hygiene of the Ministry of Healthcare of the RSFSR. Radiation hygiene. Vol. 6. Proceedings. Leningrad; 1978. P. 91-97. (In Russian)
- Akulov KI. Results and perspectives of the activities of radiological groups of sanitary-epidemiological stations of RSFSR. Radiation Hygiene. Vol. 4. Proceedings of Republican conference on radiation hygiene. Ed. by prof. P.V. Ramzaev. Leningrad; 1971. P. 4-7. (In Russian)
- Poplavsky KK. Improvement of management of sanitary-epidemiological stations in radiation hygiene. Radiation Hygiene. Vol. 4. Proceedings of Republican conference on radiation hygiene. Ed. by prof. P.V. Ramzaev. Leningrad; 1971. P. 16-18. (In Russian)

Vasiliy V. Omelchuk

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.omelchuk@niirg.ru

14. Poplavsky KK, Tarasova MI, Smorodintseva GI. Norms of work and time for the specialists of radiological groups of sanitary-epidemiological stations. *Radiation Hygiene*. Vol. 6. Proceedings. Leningrad; 1978. P. 73-77. (In Russian)
15. Poplavsky KK, Vasilyev G.G. Topical issues of radiation-hygienic service of the public. *Radiation hygiene*. Proceedings. Leningrad; 1982. P. 15-22. (In Russian)
16. Smorodintseva GI. Distribution of worktime of sanitary physicians on radiation hygiene of radiological groups SES. *Radiation Hygiene*. Vol. 4. Proceedings of Republican conference on radiation hygiene. Ed. by prof. P.V. Ramzaev. Leningrad; 1971. P. 35-37. (In Russian)
17. Zaytseva AD, Kostereva LM. Assessment of worktime of engineers-physicists and technicians-radiotechnicians of radiological groups of SES // *Radiation hygiene*. Vol. 4. Proceedings of Republican conference on radiation hygiene. Ed. by prof. P.V. Ramzaev. Leningrad; 1971. P. 38-40. (In Russian)
18. Poplavsky KK, Dzyubenko II, Koroleva TM, et al. Scientific principles of justification of staff of radiological groups of sanitary-epidemiological stations. *Radiation Hygiene*. Proceedings. Leningrad: LNIIRG; 1986. P. 5-18. (In Russian)
19. Arykova NI. Experience of radiological groups of regional SES on current sanitary surveillance on facilities working with sources of ionizing exposure. *Radiation Hygiene*. Vol. 4. Proceedings of Republican conference on radiation hygiene. Ed. by prof. P.V. Ramzaev. Leningrad; 1971. P. 23-25. (In Russian)
20. Makarova TV, Poplavsky KK. Some issues of the development of radiation-hygienic surveillance. *Radiation Hygiene*. Proceedings. Leningrad: LNIIRG; 1983. P. 150-156. (In Russian)
21. Dolgirev EI, Domaratsky VP, Kostikov Yul, et al. Mobile radiometric laboratory (PRL-76). *Radiation Hygiene*. Vol. 7. Proceedings. LNIIRG; 1978. P. 147-149. (In Russian)
22. Omelchuk VV, Baykovskaya LV. Participation of specialists of Leningrad NII of radiation hygiene in liquidation of consequences of Chernobyl NPP accident (based on 1986 data). Chernobyl 30 years later. *Radiation-hygienic aspects of management of consequences of Chernobyl NPP accident*. Proceedings. Saint-Petersburg; 2016. P. 129-133. (In Russian)
23. Poplavsky KK, Karlin NE, Katsnelson GM, et al. Main results of activities of sanitary-epidemiological stations on liquidation of Chernobyl NPP accident. *Radiation Hygiene*. Proceedings. Saint-Petersburg; 1992. P. 111-122. (In Russian)
24. Radiation-hygienic consequences of negotiation of the consequences of the Chernobyl NPP accident. Ed. by academician of RAS G.G. Onischenko and prof. A.Yu. Popova. Saint-Petersburg: NIIRG after prof Ramzaev; 2016. Vol. 1. 448 p. (In Russian)
25. Romanovich IK, et al. "Fukushima-1" NPP accident: management of prophylactic measures aimed at the preservation of the health of public of the Russian Federation. Ed. by academician of RAS G.G. Onischenko Saint-Petersburg: NIIRG after prof Ramzaev; 2012. 336 p. (In Russian)
26. Ramzaev VP, Ivanov SA, Goncharova YuN, Vishnyakova NM, Sevastyanov AV. A study of radioactive contamination of marine biota after the Fukushima accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2012;5(4): 5-11. (In Russian)
27. Repin VS. Radiation-hygienic estimation of the possible levels of far east sea fruits contamination with long living radionuclides due to the accident on "Fukushima-1" NPP. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2012;5(2): 61-70. (In Russian)
28. Onishchenko GG, Repin VS, Romanovich IK. Radiation risks assessment due to consumption of the far east food fish after the accident on "Fukushima-1" NPP. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(1): 5-15. (In Russian)
29. Biblii AM, Ivanov SA, Ramzaev PV, Basalaeva LN. Some results of the third complex multidisciplinary expedition of the Russian geographical society for monitoring of the radiation situation in the Kuril-Kamchatka area of the Pacific ocean, 2014. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(1): 62-66. (In Russian)
30. Ramzaev VP, Barkovsky AN, Gromov AV, Ivanov SA, Kaduka MV. Temporal variations of ⁷Be, ⁴⁰K, ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in epiphytic lichens (genus *Usnea*) at the Sakhalin and Kunashir islands after the Fukushima accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(3): 14-27. (In Russian)
31. "Fukushima-1" NPP Accident: radiological consequences and lessons. Ed. by acad. of RAS G.G. Onishenko and prof. A.Yu. Popova. Saint-Petersburg: Research Institute of Radiation Hygiene after prof. P.V. Ramzaev, 2021. 388 p. (In Russian)

Received: March 10, 2022

For correspondence: Vasiliy V. Omelchuk – Doctor of Medical Sciences, Scientific Secretary, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; professor North-Western State Medical University after I.I. Mechnikov of the Ministry of Healthcare of the Russia (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: v.omelchuk@niirg.ru)

For citation: Omelchuk V.V. Contribution of the St-Petersburg Institute of radiation hygiene to the practical activities of Russian sanitary-epidemiological facilities. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No 2. P.108-118. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-108-118

К 75-ЛЕТИЮ Н.А. МЕШКОВА

Заслуженному врачу Российской Федерации, доктору медицинских наук, профессору, полковнику медицинской службы, почетному профессору Смоленского государственного университета Николаю Алексеевичу Мешкову исполняется 75 лет.

Родился в г. Смоленске 28 июня 1947 г. С 1964 по 1968 г. учился на лечебном факультете Смоленского медицинского института, в 1970 г. окончил военно-медицинский факультет при Горьковском медицинском институте, в 1978 г. – факультет руководящего состава медицинской службы Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова с отличием по специальности «Санитарно-гигиеническое и противозаразное обеспечение войск, офицер с высшим военным образованием».

Служил в войсках в должности начальника медицинской службы отдельной части (1970–1973 гг.). В 1973–1976 гг. – преподаватель военной кафедры Горьковского медицинского института, в 1978–1980 гг. – преподаватель военно-медицинского факультета при Куйбышевском медицинском институте. В 1980–1984 гг. – токсиколог-радиолог армии в Группе Советских войск в Германии, в 1984–1987 гг. – главный радиолог Сибирского военного округа. В 1987–1992 гг. – заместитель командира-начальника отдела Центральной лаборатории Министерства обороны.

После увольнения в запас работал в должности заместителя директора Научно-исследовательского центра радиационной безопасности космических объектов Федерального медико-биологического агентства, ведущим научным сотрудником Государственного научно-исследовательского института экстремальной медицины, полевой фармации и медицинской техники Минобороны России, начальником научно-исследовательского отдела ФГУП «Центр экстремальной медицины» Гостехкомиссии при Президенте РФ, ведущим научным сотрудником Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, заведующим лабораторией методологии оценки воздействия факторов риска на здоровье «НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. Н.А. Сысина» ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации и главным научным сотрудником Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова». С 2021 г. – главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России).

В 1989 и 1995 гг. защитил кандидатскую и докторскую диссертации по специальности «Гигиена». Кандидатская диссертация посвящена обоснованию мероприятий радиационной защиты при авариях ядерных боеприпасов и на объектах с ядерно-энергетическими установками.



В докторской диссертации изложено гигиеническое обоснование степени опасности сочетанного воздействия на организм человека факторов радиационной и химической природы в условиях профессиональной деятельности и разработаны критерии оценки степени опасности сочетанного воздействия этих факторов.

Н.А. Мешков является ведущим ученым в области радиационной гигиены и гигиены окружающей среды, одним из видных отечественных ученых в области радиобиологии, радиационной медицины и безопасности (Видные отечественные ученые в области радиобиологии, радиационной медицины и безопасности (Биобиблиографический справочник) / под общей редакцией Л.А. Ильина, А.С. Самойлова, И.Б. Ушакова. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2021. 616 с.).

Им основано научное направление – «Комплексное радиационно-гигиеническое, экологическое и медико-биологическое натурное и экспериментальное исследование отдаленных последствий для окружающей среды и здоровья населения испытаний ядерных устройств и воздействия факторов нерадиационной природы», выполнен комплекс экспериментальных радиационно-гигиенических, экологических и эпидемиологических исследований и разработана методология оценки медико-экологической ситуации на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

В июне – июле 1986 г. Н.А. Мешков принимал участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в должности главного радиолога Особой зоны. Проводил радиационно-гигиеническую оценку уровней радиации, содержания радионуклидов в воздухе и почве, радиоактивного загрязнения кожных покровов и одежды во-

еннослужащих, принимавших участие в наиболее радиационно-опасных работах. На основе фундаментальных исследований, выполненных им лично в процессе ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, обоснованы и внедрены пределы дозы облучения военнослужащих, работавших на промплощадке ЧАЭС, разработан ряд документов по контролю за обеспечением радиационной безопасности и рекомендации по выявлению ранних проявлений лучевой реакции, научно обоснованы особенности санитарного надзора за обеспечением радиационной безопасности при ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий.

В 1988 г., являясь заместителем начальника Центральной лаборатории Министерства обороны СССР, вместе со специалистами Управления радиационной безопасности Центрального управления начальника химических войск Министерства обороны СССР осуществлял контроль за соблюдением мер противорадиационной защиты в 30-километровой зоне ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

В 1989–1990 гг. Н.А. Мешков принимал участие вместе со специалистами 12-го Главного управления Министерства обороны СССР в организации и проведении радиационно-гигиенических исследований в местах расположения воинских частей 12 ГУ МО СССР и на территории населенных пунктов, загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС, разрабатывал предложения по радиационной защите военнослужащих и гражданского населения. Им выполнены фундаментальные исследования по оценке путей поступления ^{137}Cs в организм жителей территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие ядерных испытаний, аварии на ЧАЭС и глобальных выпадений. Результаты его исследований изложены в документах: «Методика выявления и оценки радиационной обстановки в начальный период после аварии на АЭС», «Рекомендации населению по поведению на территории, загрязненной радионуклидами» и ряде других.

Н.А. Мешков лично участвовал в оценке радиационной обстановки вследствие протечки хранилища с ядерным топливом (5-е здание) 569 Береговой технической базы (БТБ) перезарядки реакторов Северного флота в губе Андреева, на основании результатов которой были разработаны и научно обоснованы рекомендации по радиационной защите участников ликвидации аварии.

В 1991 г. принимал участие в качестве эксперта при проведении работ на Ладожском озере в месте стоянки опытового судна «Кит» (немецкий эсминец Т-12, переданный по репарации после победы в Великой Отечественной войне в состав Балтийского флота), использовавшегося для испытаний боевых радиоактивных веществ.

В 1991 г., являясь членом государственной экологической экспертной комиссии в составе представителей Министерства здравоохранения РФ, Министерства обороны РФ, Госкомсанэпиднадзора РФ и Госкомэкологии РФ, участвовал в принятии решения о проведении научных исследований по оценке последствий ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне для населения Алтайского края.

С 1993 по 2008 г. осуществлял научное руководство Федеральной целевой программой по оказанию медицинской и социальной помощи населению и нор-

мализации санитарно-гигиенического состояния населенных пунктов Республики Алтай, подвергшихся радиационному воздействию в период ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне, лично участвовал в проведении научных исследований.

Основной целью научных исследований являлось выявление отдаленных последствий радиационного воздействия в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне и модифицирующего влияния различных факторов окружающей среды, а также научное обоснование практических мер по оздоровлению населения и нормализации санитарно-гигиенической ситуации в населенных пунктах, подвергшихся радиационному воздействию в период ядерных испытаний в атмосфере.

Под научным руководством Н.А. Мешкова и при его личном участии выполнены уникальные радиационно-гигиенические и радиоэкологические работы по изучению миграции радионуклидов, определению их содержания в окружающей среде и действия ионизирующих излучений на биоту. Им изучены последствия радиационного воздействия на здоровье населения в зоне выпадений радиоактивных осадков и комплексное воздействие других антропогенных и природно-климатических факторов, в том числе характерных для горной местности и территорий, приравненных к районам Крайнего Севера.

В результате выполненных фундаментальных исследований были разработаны расчётно-теоретические и инструментальные методы реконструкции доз облучения населения (по локальным выпадениям ^{137}Cs , термолюминесценции керамики и ЭПР-спектроскопии зубной эмали), ГОСТ Р 22.8.08-2001 «Метод определения поглощенной дозы внешнего гамма-излучения по термолюминесценции кварца строительной керамики. Порядок проведения измерений» и Методические рекомендации по радиационно-гигиенической оценке результатов реконструкции доз облучения. Разработаны научное обоснование практических мер по оздоровлению населения и нормализации санитарно-гигиенической ситуации в населенных пунктах, подвергшихся радиационному воздействию в период атмосферных ядерных взрывов; рекомендации по нормализации медико-экологической ситуации в Республике Алтай; рекомендации для практических врачей по организации и проведению санитарно-гигиенических исследований на территории, подвергшейся радиационному воздействию в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне.

Н.А. Мешков является соавтором «Концепции реабилитации населения и нормализации экологической, санитарно-гигиенической, медико-биологической и социально-экономической ситуации в населенных пунктах Алтайского края, расположенных в зоне влияния ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне» и «Концепции радиологической, медицинской и социальной защиты населения Республики Алтай, подвергшегося облучению в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне».

Н.А. Мешковым на основе фундаментальных научных исследований заложены и развиты научные основы комплекса практических мер по оздоровлению населения и нормализации санитарно-гигиенической ситуации в населенных пунктах, подвергшихся радиационному воз-

действию в период ядерных испытаний и радиационных аварий.

Разработанная при непосредственном участии Н.А. Мешкова Программа практических мер по оздоровлению населения и нормализации санитарно-гигиенической ситуации в населённых пунктах Республики Алтай была реализована в виде постановления Правительства Российской Федерации. В результате принятого Правительством РФ решения в 5 районах Республики Алтай были построены 5 больниц, в г. Горно-Алтайске – корпуса Республиканской больницы, здание медучилища и пристройки к Республиканской детской больнице, внедрено и освоено современное лечебно-диагностическое оборудование, оснащены современным лабораторным оборудованием санитарно-эпидемиологические учреждения, создан Республиканский медико-дозиметрический регистр.

В 1998–2007 гг. Н.А. Мешков руководил разделом Федеральной космической программы по комплексной эколого-гигиенической оценке последствий приземления отделяющихся частей ракет-носителей для состояния окружающей среды и здоровья населения на территориях Алтае-Саянского региона и Архангельской области.

Н.А. Мешков – один из разработчиков «Мобильного комплекса экспресс-оценки боеспособности, психофизиологической разгрузки и мобилизации функциональных резервов военнослужащих для эффективного выполнения боевой задачи», руководитель опытной эксплуатации Мобильного комплекса в боевых условиях в ходе Контртеррористической операции на Северном Кавказе, ветеран боевых действий.

Под руководством Н.А. Мешкова и при его непосредственном участии выполнено эпидемиологическое обоснование модели оценки вклада факторов среды обитания в формирование экологически зависимых заболеваний и их причинной обусловленности, а также фундаментальные исследования в области изучения патогенетической роли природно-климатических, экологических и социально-экономических факторов в развитии неинфекционных заболеваний.

В настоящее время сферой научных интересов Н.А. Мешкова является совершенствование методологии медико-географического и эколого-гигиенического исследования курортно-рекреационных территорий в целях устойчивого развития санаторно-курортных зон, обеспечения экологической безопасности и рационального использования природных лечебных ресурсов для восстановительного лечения и реабилитации работающего населения.

Член Российской научной комиссии по радиологической защите при ОМедН РАН с 1995 г. Эксперт РАН (Распоряжение Президиума РАН от 27.07.2016 г. № 10108-509).

Автор и соавтор более 330 научных работ, в том числе 12 монографий. Подготовил 5 докторов медицинских наук, 1 кандидата биологических наук, 2 кандидатов технических наук и 3 кандидатов медицинских наук.

За участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС награжден орденом Мужества (1996), за заслуги в области здравоохранения – орденом Почета (2018). За вклад в медицинскую науку и практику присвоено звание «Заслуженный врач Российской Федерации»

(2001), за проведение санитарно-противоэпидемических мероприятий награжден знаком «Отличнику здравоохранения» (1987).

В 2022 г. Н.А. Мешкову присвоено звание «Почетный профессор Смоленского государственного медицинского университета».

Заслуги в области охраны здоровья граждан Республики Алтай, подвергшихся радиационному воздействию вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне, отмечены Почетной грамотой Республики Алтай (2003).

За мужество и самоотверженность, проявленные при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, и активную общественную работу награжден грамотами Московской городской думы и Синодального отдела Московского патриархата по взаимодействию с Вооруженными силами (2011).

Основные научные и учебно-методические труды:

Монографии: «Уроки и выводы из аварии на Чернобыльской АЭС для Вооруженных сил, в том числе для гражданской обороны» (коллективная монография, 1988), «Влияние ядерных испытаний на медико-экологическую ситуацию в Республике Алтай» (1996), «Экологические и медико-биологические последствия ядерных испытаний на территорию и население Республики Алтай» (1999), «Медико-социальные последствия ядерных испытаний» (2003), «Радиоэкологические и медико-биологические последствия радиационного воздействия» (2012), Гигиенические нормативы. Физические факторы окружающей и производственной среды: Коллективная монография (2013).

Статьи: «Этнические и гендерные особенности адаптофенотипа сердечно-сосудистой системы у лиц, проживающих в разных природно-климатических условиях» (2017); «Особенности эколого-гигиенической ситуации и состояния здоровья населения в крупных промышленных городах» (2018); «Причинная обусловленность факторами риска эколого-зависимой патологии среди населения нефтедобывающих регионов» (2018); «Выявление и оценка связи демографических процессов с экологическими условиями в субъектах Арктической зоны Российской Федерации» (2019); «Radiation and hygiene assessment of the consequences of nuclear tests at the Semipalatinsk test site» (2020); «Методологические аспекты гигиенической оценки адаптивной реакции организма на влияние факторов профессиональной деятельности в системе оценки риска» (2021); «Условия труда и факторы риска для здоровья работников санаторно-курортных организаций» (2022).

Методические документы: «Методика выявления и оценки радиационной обстановки в начальный период после аварии на АЭС» (утв. начальником Генерального штаба Министерства обороны СССР, 1990); «Рекомендации населению по поведению на территории, загрязненной радионуклидами» (1992); «Радиоэкологические показатели загрязнения Томской области альфа-радионуклидами в результате деятельности Сибирского химического комбината» (1993); «Концепция медико-экологического направления военной медицины» (1997); «Концепция реабилитации населения и нормализации экологической, санитарно-гигиенической, медико-биологической и социально-экономической ситуации в населенных пунктах

Алтайского края, расположенных в зоне влияния ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне» (1995); ГОСТ Р 22.8.08-2001 «Метод определения поглощенной дозы внешнего гамма-излучения по термолюминесценции кварца строительной керамики. Порядок проведения измерений»; «Методические рекомендации по выявлению заболеваний, возможно, обусловленных наличием в окружающей среде НДМГ и его производных» (2002); Методические рекомендации «Идентификация факторов риска в регионах расположения районов падения отделяющихся частей ракет-носителей и оценка состояния здоровья населения, проживающего вблизи зон влияния ра-

кетно-космической деятельности» (2008); «Гигиеническая оценка соответствия эргономических параметров рабочего места адаптационным возможностям учащихся. Методические рекомендации» (2008); Рекомендации по подземным источникам водоснабжения (2011); «Система мониторинга состояния среды обитания и здоровья населения, проживающего в зоне влияния Чебоксарского водохранилища (основные блоки, параметры и показатели) (2011)»; «Методика гигиенической оценки адаптационной реакции организма человека на воздействие факторов среды обитания для определения риска развития неинфекционных заболеваний» (2017).

Правила для авторов журнала «Радиационная гигиена»

Правила для авторов составлены на основе «Белой книги Совета научных редакторов о соблюдении принципов целостности публикаций в научных журналах, 2012» (CSE's White Paper on Promotion Integrity in Scientific Journal Publications, 2012 Update) и «Рекомендаций по проведению, описанию, редактированию и публикации результатов научной работы в медицинских журналах, декабрь 2016» (ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, December 2016).

Принимаются оригинальные научные статьи на русском и английском языках, соответствующие профилю журнала «Радиационная гигиена» и отражающие результаты оригинальных научных исследований авторов, экспериментальные, теоретические статьи, обзоры, краткие сообщения, дискуссионные статьи, рецензии на работы по актуальным вопросам радиационной гигиены, писем в редакцию.

Работы для опубликования в журнале должны быть представлены в соответствии с данными требованиями:

- К опубликованию в журнале принимаются статьи на русском и английском языках. Если статья представлена на английском языке, обязательно нужно полностью дублировать ее и на русском языке. Обращаем Ваше внимание на качество английского текста!

- Материалы, представляемые в статье, не должны быть ранее опубликованы 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.

- Редакция имеет право вести переговоры с авторами по уточнению, изменению, сокращению рукописи.

- Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать представленные работы. Все статьи, поступающие в редакцию журнала, проходят двойное слепое рецензирование.

- 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 представлено 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. Все соавторы должны быть согласны с публикацией текущей версии статьи

- Рукописи, оформленные не в соответствии с правилами, к дальнейшему рассмотрению не допускаются.

- Объем обзорных аналитических, исторических статей не должен превышать 40 страниц

- машинописного текста; оригинальных исследований – 25 страниц, дискуссионных статей – 10, кратких сообщений и заметок из практики – 10 страниц.

- 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.

СТРУКТУРА СТАТЬИ

Титульный лист должен содержать:

- **название статьи** должно кратко (не более 10 слов) и точно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В него необходимо вложить как информативность, так и привлекательность, уникальность научного творчества автора. Не допускается использование сокращений и аббревиатур, а также торговых (коммерческих) названий приборов, медицинской аппаратуры и т.п.);

Приводится на русском и английском языках.

- **фамилия и инициалы автора(ов);**

- любые изменения в списке авторов после подачи статьи в редакцию должны быть одобрены всеми авторами.

Фамилии авторов нужно транслитерировать по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru.

- **наименование учреждений**, в которых работают авторы с указанием ведомственной принадлежности (Роспотребнадзор, Минздрав России, РАМН и т.п.), город, страна (при этом 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. **Указывается официально принятый английский вариант наименования организаций!**

- **Резюме.** После титульного листа размещается резюме статьи на русском и английском языках (объемом не менее 250 слов каждая). Резюме выполняет функцию расширенного названия статьи и повествует о ее содержании. В резюме следует излагать только релевантную информацию.

В нем должны быть четко обозначены следующие составные части:

- 1) Введение (Introduction): ставится научная проблема и цель статьи.

- 2) Материалы и методы (Materials and Methods): даются сведения об объекте и последовательности выполнения исследования.

- 3) Результаты исследования (Results): приводятся конкретные авторские результаты исследования.

- 4) Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion): указываются практическая значимость и перспективы исследования.

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. Ключевые слова** являются поисковым образом научной статьи. Во всех библиографических базах данных возможен поиск статей по ключевым словам. В связи с этим они должны отражать основные положения, достижения, результаты, терминологию научного исследования.

Текст статьи

Текст оригинального научного исследования должен состоять из выделяемых заголовками разделов: «Введение», «Цель исследования», «Задачи исследования», «Материалы и методы», «Результаты исследования», «Обсуждение и заключение», «Литература».

Введение (Introduction) – постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности. Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье. При его написании автор прежде всего должен заявить общую тему исследования, обозначить проблему, не решенные в предыдущих исследованиях, которые призвана решить данная статья. Кроме того, в нем выражается главная идея публикации, которая существенно отличается от современных представлений о проблеме, дополняет или углубляет уже известные подходы к ней; обращается внимание на введение в научное обращение новых фактов, выводов, рекомендаций, закономерностей. Цель статьи вытекает из постановки научной проблемы. Обзор литературы. Необходимо описать основные современные исследования и публикации, на которые опирается автор; современные взгляды на проблему; трудности при разработке данной темы; выделение нерешенных вопросов в пределах общей проблемы, которым посвящена статья. Желательно рассмотреть 20–40 источников и сравнить взгляды авторов; часть источников должна быть англоязычной. Важно провести сравнительный анализ с зарубежными публикациями по заявленной проблематике.

В разделе «*Материалы и методы*» (*Materials and Methods*) должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

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.

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. Центр. 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.

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.

Результаты (Results). В этой части статьи должен быть представлен систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать достаточно полно, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель которого – доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты желательно сопоставить с предыдущими работами в этой области, как автора, так и других исследователей. Такое сравнение дополнительно раскроет новизну проведенной работы, придаст ей объективности. Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Также должно быть обосновано, почему для анализа были выбраны именно эти данные. Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

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 «СФ16» (Россия), спектрофлуориметр фирмы «Hitachi» (Япония). Малоупотребительные и узкоспециальные термины также должны быть расшифрованы.

Таблицы

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. Следует уточнить, какие параметры статистической вариативности оценивались, например, стандартное отклонение или стандартная ошибка среднего. Не следует дублировать данные, содержащиеся в таблице, в тексте статьи, в графиках или диаграммах.

Рисунки

Иллюстрации должны быть четкие, контрастные. Цифровые версии иллюстраций должны быть сохранены в отдельных файлах в формате Tiff, с разрешением 300 dpi и последовательно пронумерованы. Подрисуночные 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.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion). Заключение содержит краткую формулировку результатов исследования. В нем в сжатом виде приводятся главные мысли основной части работы. Повторы излагаемого материала лучше оформлять новыми фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи. В этом разделе необходимо сопоставить полученные результаты с обозначенной в начале работы целью. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркиваются их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытки прогноза развития рассмотренных вопросов.

- В конце статьи должны быть размещены следующие данные:

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей. Наш журнал придерживается следующих критериев авторства, разработанных ICMJE и COPE:

- существенный вклад в разработку концепции или дизайна исследования; или сбор, анализ или интерпретация данных;

- написание текста статьи или ее редактирование для важного интеллектуального содержания;

- утверждение окончательного варианта статьи для публикации;

- согласие нести ответственность за все аспекты статьи, обеспечивая надлежащее расследование и решение вопросов, связанных с точностью или целостностью любой части работы;

- иное.

Приводятся на русском и английском языках.

Благодарности. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам. Приводятся на русском и английском языках.

Информация о конфликте интересов. В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Приводится на русском и английском языках.

Сведения об источнике финансирования.

Приводятся на русском и английском языках.

Список литературы

Рекомендуемое количество литературных источников: для оригинальных научных статей – не менее 25 источников, для лекций и обзоров – не более 60 источников, для других статей – не более 15 источников.

Ответственность за правильность изложения библиографических данных возлагается на автора.

В журнале используется Ванкуверский формат цитирования, который подразумевает ссылку на источник литературы в квадратных скобках и последующее упоминание источника в списке литературы и в порядке упоминания в тексте.

Прилагаются **два списка литературы.**

В первом списке литературы (Литература) библиографическое описание литературных источников должно соответствовать требованиям ГОСТа Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Необходимо правильно оформить ссылку на источник. Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

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

Если имеется 3-4 автора, то указываются все. Если от 5 и больше – первые 3 автора, затем ставится «и др.».

Если в **монографии** на обложке указаны основные авторы, их всех следует указать, далее поставив «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 научного 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., Союкин 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.

Второй список литературы (References) полностью соответствует первому списку литературы. Оформляется также в соответствии с Ванкуверским форматом цитирования

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, Flanigan 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]

Отчет 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].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

После списков литературы 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 на русском и английском языках, рабочий телефон и адрес электронной почты всех авторов, идентификационный номер ORCID. Сокращения не допускаются.

ПОРЯДОК ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В РЕДАКЦИЮ

Все статьи печатаются в журнале бесплатно.

Направляя статью для публикации в данном журнале, авторы соглашаются со следующим:

- Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0) которая позволяет другим распространять данную работу с обязательным сохранением ссылок на авторов оригинальной работы и оригинальную публикацию в этом журнале.
- Все авторы внимательно прочитали Этику научных публикаций журнала и с пониманием воспримут санкции за его нарушение.
- Авторы статьи принимают положения: «Авторское соглашение (публичная оферта) о публикации статьи в научном журнале «Радиационная гигиена».
- Согласно вступившей в действие IV части Гражданского кодекса РФ, между авторами статей и редакцией журнала заключается **Лицензионный договор (оферта) о предоставлении права использования произведения** издателю.

Основным способом подачи рукописи статьи в редакцию является отправка по электронной почте журнала в форме присоединенных файлов: journal@niirg.ru

При подаче рукописи должны быть загружены следующие файлы:

1. Текст рукописи (титальный лист, структурированное резюме, ключевые слова, текст статьи, полные данные об авторах, необходимые для обработки в Российском индексе научного цитирования, сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей, благодарности, информация о конфликте интересов, сведения об источниках финансирования, список литературы). На английском языке представляется следующая информация: название статьи, транслитерация фамилий авторов в латинском варианте по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru, название организации с указанием города, страны; структурированное резюме и ключевые слова; сведения об авторах в том же объеме, как на русском; сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей, благодарности, информация о конфликте интересов, сведения об источниках финансирования; список литературы – References). Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

2. Иллюстрации в отдельных файлах в формате Tiff, JPEG с разрешением 300 dpi. При отправке файла обязательно указывайте номер рисунка, соответствующий его номеру в статье.

3. Лицензионный договор о предоставлении права использования произведения издателю. Электронный вариант заполненного и подписанного всеми авторами договора следует отправить в качестве дополнительного файла в формате .pdf.

4. Официальное направление учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы в формате .pdf.

5. Экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи в формате .pdf.

ДЕЙСТВИЯ РЕДАКЦИИ В СЛУЧАЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАГИАТА, ФАБРИКАЦИИ И ФАЛЬСИФИКАЦИИ ДАННЫХ

В случае обнаружения недобросовестного поведения со стороны автора, плагиата, фабрикация или фальсификация данных редакция руководствуется правилами COPE. Под недобросовестным поведением мы понимаем любые действия ученого, включающие ненадлежащее обращение с объектами изучения или намеренное манипулирование научной информацией, при котором она перестает отражать наблюдаемые исследования; а также поведение ученого, которое не соответствует принятым этическим и научным стандартам.

К недобросовестному поведению журнал «Радиационная гигиена» не относит честные ошибки или честные расхождения в плане, проведении, интерпретации или оценке исследовательских методов или результатов или недобросовестное поведение, не связанное с научным процессом.

Справки по телефону: (812)2334283 и (812)2335016 (редакция журнала «Радиационная гигиена»). Факс: (812)2335363, 2334283.

